OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

MODULE N°:04	**DES INSTRUMENTS ET DES APPAREILS UTILISE EN TOPOGRAPHIE ELEMENTAIRE 1 (INITIATION)**

SECTEUR : ***BTP***

SPECIALITE : ***TECHNICIEN SPECIALISE GEOMETRE TOPOGRAPHE***

NIVEAU : ***TECHNICIEN SPECIALISE***

Mars 2004

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Pour la supervision :

M. Khalid BAROUTI Chef projet BTP
Mme Najat IGGOUT Directeur du CDC BTP
M. Abdelaziz EL ADAOUI Chef de Pôle Bâtiment

Pour la conception :

Pour la validation :

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

DRIF

REMERCIEMENT

La DRIF remercie les personnes qui ont contribué à l'élaboration du présent document.

Pour la supervision :

M. Khalid BAROUTI	Chef projet BTP
Mme Najat IGGOUT	Directeur du CDC
M. Abdelaziz EL ADAOUI	Chef de Pôle Bâtiment

Pour la conception :

M. Pavel TSVETANOV	Formateur animateur CDC/BTP

Pour la validation :

M. Pavel TSVETANOV	Formateur animateur CDC/BTP

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce module.

DRIF

SOMMAIRE

Présentation du module
Résumé de théorie

I. GÉNÉRALITÉS

II. MESURES DES DISTANCES
1. Le ruban d'acier
2. Le ruban à ressort
3. Les fiches de décamètre
4. Le jalon

III. LA MIRE, LE TRÉPIED, LE FIL A PLOMB
1. La mire parlante
2. Le trépied
3. Fil à plomb

IV. NIVEAU DE CHANTIER ORDINAIRE
1. Généralités
2. Construction
3. Mise en station
4. Correction de la verticalité de la mire
5. Lecture de la mire avec la réticule

V. NIVEAU DE CHANTIER AUTOMATIQUE
1. Généralités
2. Le niveau automatique
3. Précision et tolérance des lectures
4. Caractéristiques des niveaux
5. Cheminements simples
6. Cheminement mixte
7. Cas particuliers de cheminements
8. Applications

VI. NIVEAU DE CHANTIER DE PRÉCISION
1. Généralités
2. Mires
3. cheminement double
4. Précision et tolérances d'un nivellement par cheminement

VII. NIVEAUX DE CHANTIER DE HAUTE PRÉCISION
1. Généralités
2. Mires de précision et mire invar à double échelle

3. Lectures sur mire avec micromètre optique
4. Les cheminements de haute précision
5. Erreurs à prendre en compte
6. Classement des niveaux en fonction de l'ordre du nivellement

VIII. PLANIMÈTRE MÉCANIQUE
1. Généralités
2. Construction d'un planimètre polaire a pole fixe
3. Surface- chiffre où unité du vernier

IX. PANIMÈTRE ÉLECTRONIQUE
1. Généralités
2. Différences avec le planimètre mécanique
3. Avantage de cet appareil
4. Planimètre polaire à chariot PLANIX 7

Guide de travaux pratique
TP N°1 : Établir un trait carré
TP N°2 : Mise en station et établissement d'angles droits
TP N°3 : Piquetage d'un bâtiment
TP N°4 : Report des angles d'un bâtiment sur les planches repères
TP N°5 : Détermination de la profondeur d'excavation

Évaluation de fin de module

X. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

MODULE 04: INSTRUMENTS ET APPAREILS TOPOGRAPHIQUES 1 (INITIATION)

Durée : 140 H

OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPORTEMENT ATTENDU

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit se familiariser avec le fonctionnement des instruments et les appareils topographiques selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

CONDITIONS D' EVALUATION

- Individuellement
- Travail en équipe
- Tests pratiques

CRITERES GENERAUX DE PERFORMANCE

- Généralités
- La roulette, fil à plomb, jeux de fiche
- Jalons, trépied, la mire
- Niveau de chantier ordinaire
- Niveau de chantier automatique
- Niveau de chantier de haute précision
- Planimètre mécanique
- Planimètre électronique

PRECISIONS SUR LE COMPORTEMENT ATTENDU	CRITERES PARTICULAIRS DE PERFORMANCE
1. Généralités	- Besoin des instruments - Besoin des appareils - Besoin des diverses exactitudes - Le choix des appareils
2. Mesure des distances	- La roulette - En métal et en plastic - la position de zéro - Le fil à plomb - Jeux des fiches, destination
3. La mire, le trépied, le fil à plomb	- Divers types - Destination - Lecture sur la mire
4. Niveau de chantier ordinaire	- Construction - La nivelle - Le tube optique - Lecture avec la réticule
5. Niveau de chantier automatique	- Différences dans la construction - Avantages de l'appareil - Méthode de travail
6. Niveau de chantier de haute précision	- Destination de cet appareil - L'équipement - Méthode de travail
7. Planimètre mécanique	- Construction - Liaison avec l'échelle - Méthode de travail - Lectures sur le cercle
8. Planimètre électronique	- Différences avec le planimètre mécanique - Avantage de cet appareil - Méthode de travail

OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU

Le stagiaire doit maîtriser les savoirs, savoir – faire, savoir- percevoir ou savoir – être jugés préalable aux apprentissages directement requis pour l'atteinte de l'objectif de premier niveau, tels que :

Avant d'apprendre à 1, 2, et 3:

1. Connaissances sur les unités pour les mesures des angles et des distances
2. Méthodes des mesures des distances directes sur un terrain plat et en pente
3. Savoir les mesures et les calculs pour les pentes et les distances
4. Connaissance en math l'interpolation et l'extrapolation

Avant d'apprendre à 4,5 et 6 :

1. Le principe de nivellement
2. Matérialisation de système d'altimétrie avec des bornes sur le terrain
3. Position de l'appareil pendant le temps de mesures
4. Exactitude des lectures sur la mire
5. Besoin de nivellement avec haute précision
6. Les erreurs permises pour le nivellement ordinaire
7. Les erreurs permises pour le nivellement de haute précision

Avant d'apprendre à 7 et 8 :

1. Connaissances sur les échelles
2. Destination de planimétrie
3. Connaissances sur les profils en travers et les méthodes de calculs des volumes terrestres
4. Les méthodes de détermination des surfaces sur un plan en échelle fixée

PRESENTATION DU MODULE

Le module :«INSTRUMENTS ET APPAREILS TOPOGRAPHIQUES UTILISES EN INITIATION EN TOPOGRAPHIE » s'apprend pendant le première et la deuxième semestre de formation, donc dans la première année de formation.

Il est dispensé **en 140 heures**.

Le module № 4 consiste à doter le géomètre topographe des notions de base sur « Les instruments et appareils topographiques » et de lui faire apprendre la construction de différant types et models des instruments d'une cotée et leurs mode d'emploi et utilisation en topographie de l'autre, pour qu'il puisse faire des mesurés topographiques, destinés pour élaboration des plans topographiques dans la réalisation des travaux en construction sur le chantier ou bien dans élaboration des études dans un bureau d'étude.

Le module a été élaboré en deux parties : **Résumé de théorie** et **Guide de travaux pratique.**

INSTRUMENTS ET APPAREILS TOPOGRAPHIQUES UTILISES EN INITIATION EN TOPOGRAPHIE

RESUMÉ DE THEORIE

I. GENERALITES

1. BESOIN DES INSTRUMENTS ET DES APPAREILS.

En topographie, géodésie, topométrie ou arpentage, on sera toujours amené à effectuer des mesures sur le terrain. Les conditions météorologiques devront donc permettre leur exécution et auront une influence sur leur qualité (ne pas croire que le temps chaud et ensoleillé est idéal !).

Ces mesures seront :

- des mesures d'angles horizontaux ;
- des mesures d'angles verticaux ;
- des mesures de longueurs (la combinaison de ces deux dernières permet de calculer les différences de niveau),
- des mesures directes de dénivelées.

Pour ces mesures il faudra avoir recours à des instruments. Ceux – ci coûteront d'autant plus cher qu'ils seront plis précis. Il faut donc se fixer, a priori, un cahier des charges définissant parfaitement la précision finale désirée.

Un simple exemple : la minute de levé d'un topographe expérimenté ne peut prétendre à une précision supérieure au 1/10 mm (c'est *l'erreur graphique*, irréductible). A l'échelle du 1/500, elle représente 5 cm, au 1/25 000 – 2,5 m.

Les instruments ne seront pas les mêmes.

2. BESOIN DES DIVERS EXACTITUDES.

Lorsqu'on doit exécuter un plan, on emploie les différentes méthodes que l'on vient d'étudier avec pour chacune d'elles une fréquence qui dépend de l'échelle du plan. En effet, lorsque l'échelle est grande, on a recours aux procédés nécessitant les chaînages des distances et lorsque l'échelle est petite on utilise les méthodes employant les mesurer stadimétriques et l'intersection. Au fur et à mesure que l'échelle diminue, on est amené d'une parte à généraliser certains détails et d'autre part à utiliser de plus en plus la représentation topographique et de moins en moins les déterminations topométriques.

Pour l'établissement des plans à grande échelle, on utilise, le cercle horizontal d'un niveau, d'un théodolite, d'un tachéomètre ou d'un cercle d'alignement pour mesurer les angles, et la chaîne pour mesurer les distances.

Ces plans s'étendent généralement sur des zones réduites et concernent les levés urbains où l'on doit, soit déterminer avec précision la représentation d'une propriété bâtie ou d'un corps de rue, soit étudier un projet de construction ou d'alignement de rue à créer ou à élargir. Toutes les mesures sont faites avec le maximum de précision topométrique ; Les angles sont relevés avec un cercle donnant le centigrade. Les distances sont mesurées au ruban d'acier avec soin ou avec un procédé statistiquement ayant une précision du même ordre tel que le tachéomètre en utilisant les quatre rapports ou un tachéomètre autoréducteur à mire horizontale et micromètre comme le Wild RDH par exemple. Le procédé le plus rapide est le chaînage. Les distances sont généralement très courtes (inférieures à 20m).Les différents points relevés doivent pouvoir être calculés en coordonnées rectangulaires avec la précision du centimètre. Généralement ces plans ne concernent qu'une partie très réduite pour une étude de détails de constructions et ils sont toujours reportés à grande échelle :

- 1/50 pour les plans destinés à l'étude d'une construction, cette échelle étant celle des plans d'architectes ;
- 1/100 ou 1/200 pour les plans destinés à l'étude d'un projet plus important, îlot bâti, usine, corps de rue, etc.

Pour l'établissement des plans à échelle moyenne le levé est fait au tachéomètre par rayonnement. Les distances sont relevées par stadimétrie jusqu'à une limite maximum qui est fonction de échelle du report, de façon à conserver la précision de 0,1mm $\sqrt{2}$ = 0,14 mm sur le plan. Les points sont reportés par coordonnées polaires au rapporteur tachéométrique.

Ces plans s'étendent parfois sur très grandes surfaces. Ils sont quelquefois établis en plusieurs feuilles que l'on peut assembler grâce au carroyage. Lorsqu'ils concernent un projet long et peu large (route, voie ferrée), on les reporte sur une seule bande pliée au format 210 x 297 mm ou 21 x 31 cm avec des soufflets aux changements de direction. Le report est effectué aux échelles 1/500, 1/100 et 1/2000 selon la précision désirée, l'importance des détails et le prix de revient souhaité.

Lorsque l'échelle devient encore plus petite, on fait de moins en moins de mesures topométriques et de plus en plus de représentation topographique. Pour reproduire fidèlement le terrain sur plan, il est indispensable de l'avoir sous les yeux. C'est pour cela que le levé est fait alors à la planchette, les distances sont mesurées avec la règle à éclimètre.

Ces plans concernent généralement des superficies très étendues, c'est la raison pour la quelle le levé par photogrammétrie permet une bien meilleure rentabilité. Aussi, il est presque uniquement utilisé pour ces plans au détriment du levé à la planchette qui ne sert plus que pour les surfaces réduites ou pour la formation des jeunes topographes.

3. LE CHOIX DES APPAREILS.

Toute construction d'importance commence par l'implantation du bâtiment. Commee ce mot l'indique, cela consiste à « planter » la bâtise dans les limites d'un terrain. Voici le moment de prendre des mesures et des relevés d'angles pour faire un implantation. La précision de l'ensemble est d'une importance primordiale afin que soient respéctées toutes les mesures que vous avez soumises pour l'approbation de votre permis de construction, en conformité avec le service d'urbanisme de la municipalité.

Pour réaliser cette implantation, vous allez utiliser des instruments et des appareils d'une très grande précision qui demendent à être manipulés avec soin.Plusieurs types d'appareils sont à votre disposition, selon l'opération que vous devez exécuter et le degré de précision que vous désirez obtenir.

Pour mesurer un distance vous avez besoin :

- d'une roulette en métal ou en plastic ;
- des jalons ;
- d'un fil à plomb ;
- des jeux des fiches ;

Pour faire un nivellement vous avez besoin:

- d'une mire ;
- d'un trépied ;
- d'un niveau ;

Vous allez aussi prendre des mesures sur de grandes distances avec des outils à mesurer, et sur ce point encore, la précision est de rigueur.

1. LE RUBAN D'ACIER.

C'est un ruban d'acier trempé. Sa largueur varie de 10, 20, 30, et 50 m. Le ruban de 20 m à ses deux extremités munies d'une poingnée ovale ou en forme de T, dont la longueur ets comprise dans celle du ruban. Des viroles permettent la rotation des poingnées sans torsion du ruban. La rainure semi – circulaire de la pognée en forme de T (fig. 1) sert à fixer la poignée contre une fiche d'arpenteur. La division est généralment indiquée par des plaquettes numériques tous les mètres, des rivets tous les décimètres et des perforations tous les centimètres.

On enroule le ruban sur un croisillon en bois ou sur un chevalet métalique.

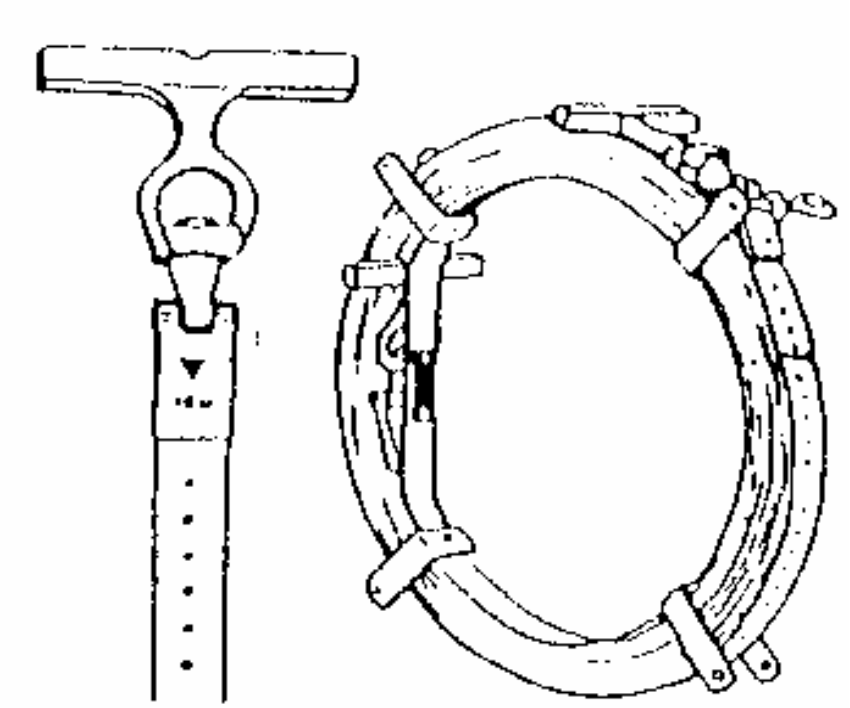


Fig. 1

2. LE RUBAN A RESSORT.

Ce ruban est plus étroite (max. 13mm de larguer) et plus léger que le ruban d'acier. Il existe des ruban à ressort en acier dur ,en acier inoxydable, en acier plastifié et en cuivre.

Le ruban à ressort est enroulable sur un moulinet à poignée ou dans une boite close en cuir dur ou en plastique, grâce à nune petite manivelle. Une division très lisible en mm est tracée ou imprimée sur le recouvrement en plastique. D'une manipulation aisée et rapide, son emploi se généralise pour tous les travaux de précision moyenne (fig. 2).

Mesures à ruban STABILA

4 sortes de boîtiers, 2 sortes de cadres, 4 ruban différents, de 10 à 100 m, gaduation métrique et /ou en pouces.

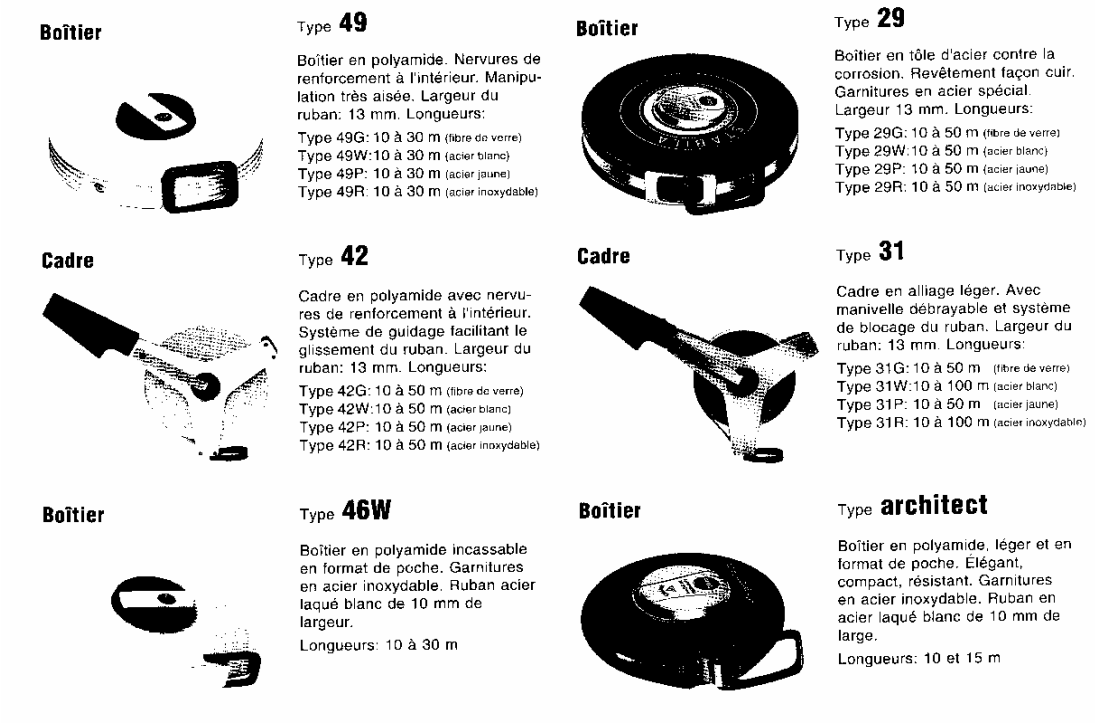

Boîtier
Type 49
Boîtier en polyamide. Nervures de renforcement à l'intérieur. Manipulation très aisée. Largeur du ruban: 13 mm. Longueurs:
Type 49G: 10 à 30 m (fibre de verre)
Type 49W: 10 à 30 m (acier blanc)
Type 49P: 10 à 30 m (acier jaune)
Type 49R: 10 à 30 m (acier inoxydable)
Boîtier
Type 29
Boîtier en tôle d'acier contre la corrosion. Revêtement façon cuir. Garnitures en acier spécial. Largeur 13 mm. Longueurs:
Type 29G: 10 à 50 m (fibre de verre)
Type 29W: 10 à 50 m (acier blanc)
Type 29P: 10 à 50 m (acier jaune)
Type 29R: 10 à 50 m (acier inoxydable)
Cadre
Type 42
Cadre en polyamide avec nervures de renforcement à l'intérieur. Système de guidage facilitant le glissement du ruban. Largeur du ruban: 13 mm. Longueurs:
Type 42G: 10 à 50 m (fibre de verre)
Type 42W: 10 à 50 m (acier blanc)
Type 42P: 10 à 50 m (acier jaune)
Type 42R: 10 à 50 m (acier inoxydable)
Cadre
Type 31
Cadre en alliage léger. Avec manivelle débrayable et système de blocage du ruban. Largeur du ruban: 13 mm. Longueurs:
Type 31G: 10 à 50 m (fibre de verre)
Type 31W: 10 à 100 m (acier blanc)
Type 31P: 10 à 50 m (acier jaune)
Type 31R: 10 à 100 m (acier inoxydable)
Boîtier
Type 46W
Boîtier en polyamide incassable en format de poche. Garnitures en acier inoxydable. Ruban acier laqué blanc de 10 mm de largeur.
Longueurs: 10 à 30 m
Boîtier
Type architect
Boîtier en polyamide, léger et en format de poche. Élégant, compact, résistant. Garnitures en acier inoxydable. Ruban en acier laqué blanc de 10 mm de large.
Longueurs: 10 et 15 m

Fig. 2

Remarques :

1. L'origine des graduations des rubans varie de modèle à modèle. Parfois, l'anneau compte dans la mesure ; parfois celle – ci ne commence que sur le ruban. Quand on utilise un instrument semblable pour la première fois, il faut bien y prendre garde (fig. 3)

2. Les rubans d'acier et les rubans à ressort sont fragiles. Ils doivent donc être employés avec précuation. Ces rubans peuvent se casser en essayant de redresser une pluire. Or, un ruban brisé est difficilement réparable.

3. L'acier rouille très rapidement . Nettoyer le ruban après usage en l'essayant d'abord avec un chiffon sec puis avec un autre chiffon légérement enduit de pétrole ou d'uile fine.

2 largueurs de ruban, 4 différents commencements. Également disponible en version poinçonnée contre supplement (métrique,commencements standart, BiM, H).

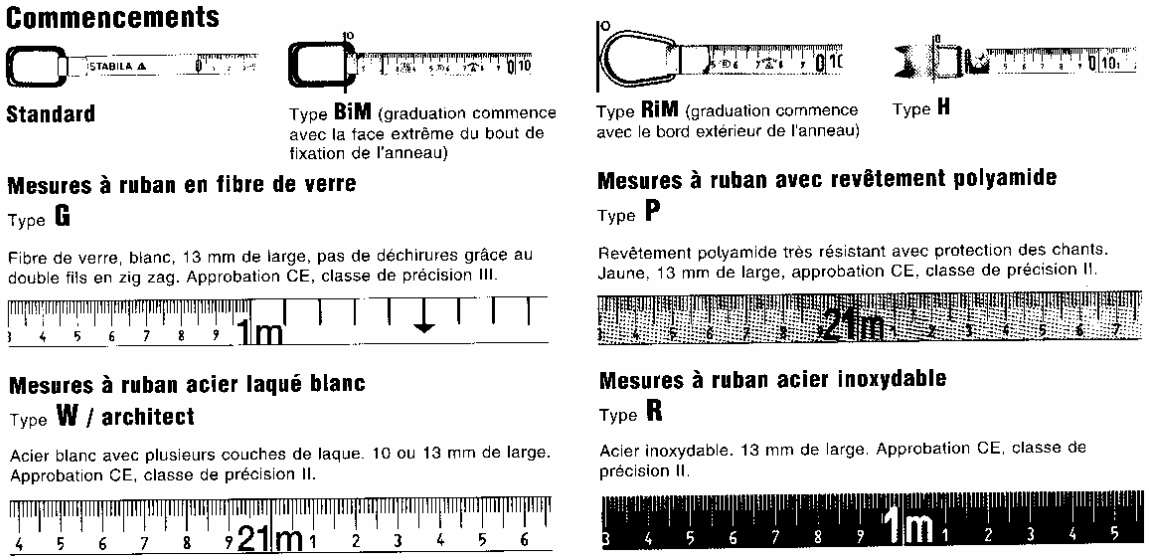

Commencements
Standard
Type BiM (graduation commence avec la face extrême du bout de fixation de l'anneau)
Type RiM (graduation commence avec le bord extérieur de l'anneau)
Type H
Mesures à ruban en fibre de verre
Type G
Fibre de verre, blanc, 13 mm de large, pas de déchirures grâce au double fils en zig zag. Approbation CE, classe de précision III.
Mesures à ruban avec revêtement polyamide
Type P
Revêtement polyamide très résistant avec protection des chants. Jaune, 13 mm de large, approbation CE, classe de précision II.
Mesures à ruban acier laqué blanc
Type W / architect
Acier blanc avec plusieurs couches de laque. 10 ou 13 mm de large. Approbation CE, classe de précision II.
Mesures à ruban acier inoxydable
Type R
Acier inoxydable. 13 mm de large. Approbation CE, classe de précision II.

Fig. 3

Mesures roulantes de poche STABILA

STABILA se porte garant de la précision en imposant sur le ruban son nom, la clssee de précision et l'approbation CE (fig. 4).

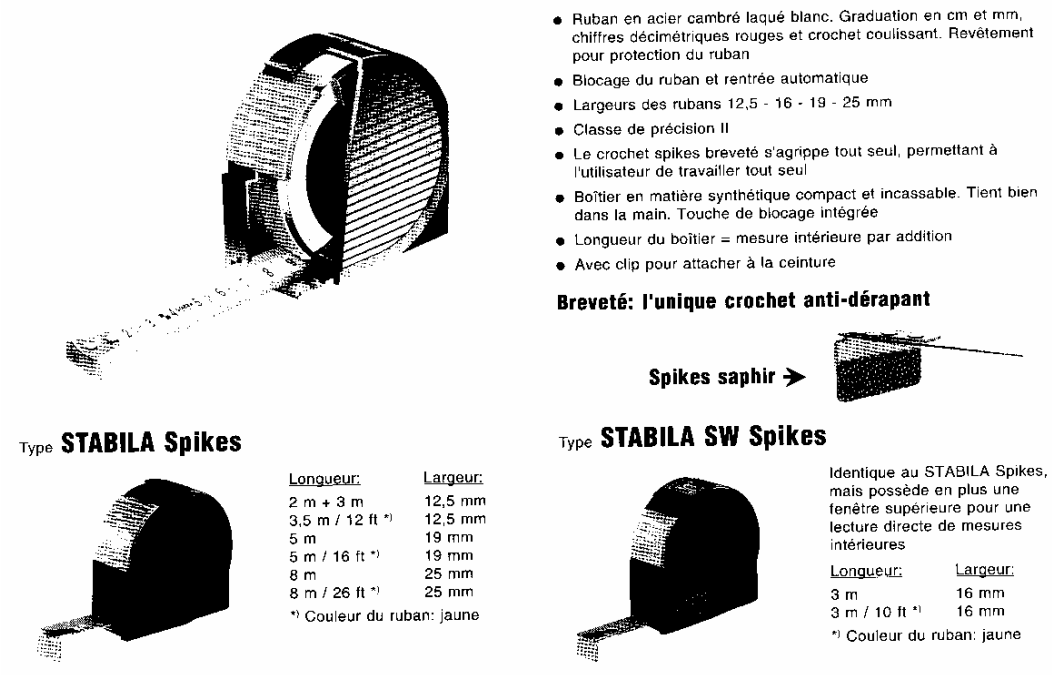

• Ruban en acier cambré laqué blanc. Graduation en cm et mm, chiffres décimétriques rouges et crochet coulissant. Revêtement pour protection du ruban
• Blocage du ruban et rentrée automatique
• Largeurs des rubans 12,5 - 16 - 19 - 25 mm
• Classe de précision II
• Le crochet spikes breveté s'agrippe tout seul, permettant à l'utilisateur de travailler tout seul
• Boîtier en matière synthétique compact et incassable. Tient bien dans la main. Touche de blocage intégrée
• Longueur du boîtier = mesure intérieure par addition
• Avec clip pour attacher à la ceinture
Breveté: l'unique crochet anti-dérapant
Spikes saphir
Type STABILA Spikes
Longueur: Largeur:
2 m + 3 m 12,5 mm
3,5 m / 12 ft *) 12,5 mm
5 m 19 mm
5 m / 16 ft *) 19 mm
8 m 25 mm
8 m / 26 ft *) 25 mm
*) Couleur du ruban: jaune
Type STABILA SW Spikes
Identique au STABILA Spikes, mais possède en plus une fenêtre supérieure pour une lecture directe de mesures intérieures
Longueur: Largeur:
3 m 16 mm
3 m / 10 ft *) 16 mm
*) Couleur du ruban: jaune

Fig. 4

3. LES FICHES DE DECAMETRE.

Les fiches de décamètre sont des chevilles en fil d'acier galvanisé, longues de 20 à 30 cm et dotées d'un anneau à leur partie supérieure. Ces fiches sont utilisées pour mesurer des longueurs supérieures à celle du ruban employé. Elles sont plantées dans le sol pour indiquer l'endroit atteint par l'extrémité du ruban déployé, ce qui permet de compter le nombre de fois que le ruban a été déroulé.

Un jeu de fiches comporte toujours 11pièces, dont une lestée par du plomb. Cette dernière s'emploie pour mesurer un terrain en pente : en la laissant tomber, l'extrémité du ruban ou du ressort tendu sera projetée au sol (fig. 5). On utilise un jeu de fiche avec *le méthode de mesurage à plat* . Le mesurage est effectué avec un décamètre, ruban d'acier émaillé ou enrobé de nylon polyamide teinté, gradué tous les centimètres, monté dans un boîtier muni d'une manivelle d'enroulement et souvent d'une poingée (fig. 5) ; les rubans de 30 m et 50 m sont plus fragiles et pas faciles à manipuler.

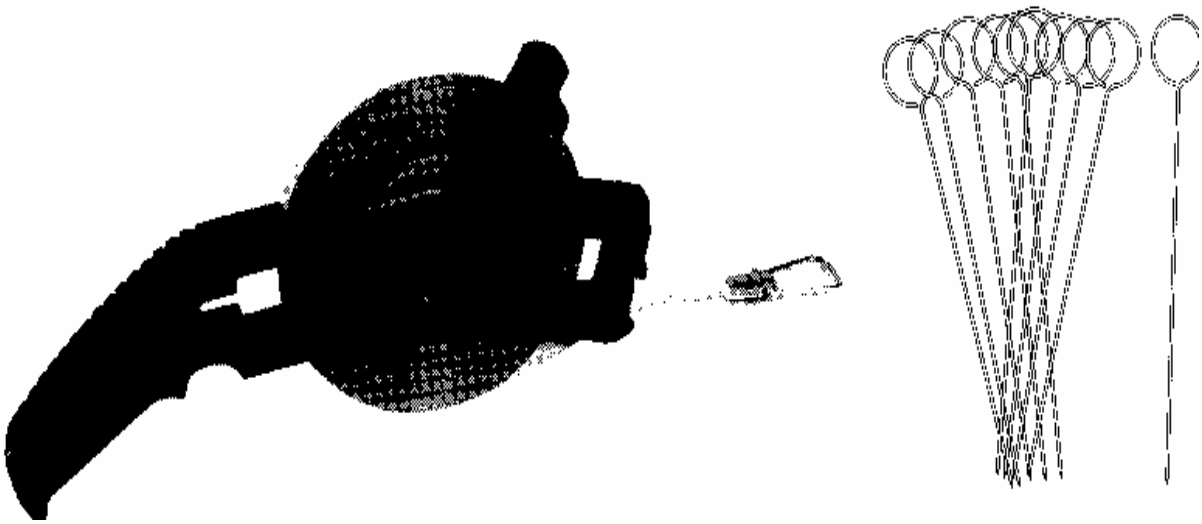


Fig. 5

Le ruban reposant entièrement sur le sol, les *portées,* autrement dit les longueurs entières de ruban, sont mat érialisées par des *fiches* (fig. 5), tiges de gros fil de fer de 20 cm environ, épointées à une extrémité, cintrées en forme d'anneau à l'autre'.

Avec un ruban de 10 m, utiliser un jeu de 11 fiches de manière que *l'échange de fiches* s'effectuer à 100 m = 10 x 10 m, soit 10fiches ramassées au fur et à mesure par l'opérateur arrière, la onzième restant bien entendu plantée (fig. 6).

Lorsque les deux opérateurs sont arrivés à l'extrémité B, le décompte de la longueur totale mesurée est simple :

AB = 2 échanges + 2 fiches + appoint = 2 × 100 + 2 × 10 + 8,11 = 228,11 m.

Avec un ruban de 20 m, utiliser un jeu de six fiches, la sixième permettant le relais des 5 × 20 m.

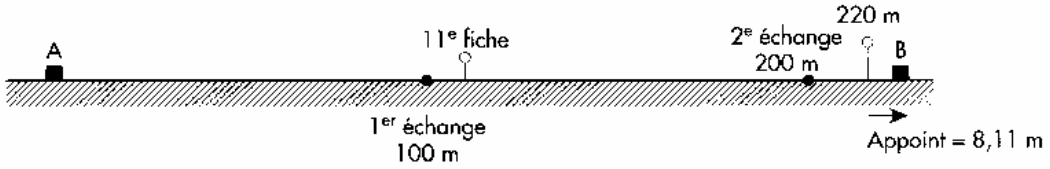


Fig. 6 : échanges de fiches

Étalonnage et dilatation

L'étalonnage est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer les valeurs des erreurs d'un instrument de mesurage.

Pour un ruban, l'étalonnage débouche sur une *correction d'étalonnage à une température de référence*, le plus souvent 0 °C, du fait que la longueur du ruban varie avec celle-ci ; comme en outre la correction évolue avec l'usure du ruban, le fabriquant ne la détermine pas, le topographe pouvant le faire aisément en mesurant une longueur connue, par exemple celle d'une base que le service du Cadastre a établie dans la plupart des grandes villes.

L'acier des rubans ayant un coefficient de dilatation qui correspond à une variation d'environ 1,1 mm à 100 m pour un changement de température de 1 °C, la longueur mesurée Lt à la température t est donc réduite à celle Lt_E que l'on aurait obtenue à la température d'étalonnage t_E, toutes choses égales par ailleurs, en appliquant la *correction de température* :

$$ct = \frac{0{,}0011\,(t - t_E) \cdot Lt}{100} \Rightarrow Lt_E = Lt + ct$$

Si L désigne la longueur connue ou longueur vraie, la correction d'étalonnage, généralement calculée pour 100 m, vaut $c_{E_{100^m t_E}} = \frac{(L - Lt_E) \cdot 100}{L}$

Exemple.–

Deux opérateurs ont mesuré aller et retour, avec un double décamètre à une température moyenne de 12 °C, une base de longueur connue L = 120,037 m ; ils ont trouvé 120,072 m et 120,078 m, d'où :

$$L_{12^\circ} = \frac{120{,}072 + 120{,}078}{2} = 120{,}075 \text{ m.}$$

En admettant que leur température de travail habituelle soit voisine de 20 °C et qu'en conséquence ils veuillent calculer la correction d'étalonnage à cette température, la longueur mesurée avec un ruban plus long aurait été plus courte, toutes choses égales par ailleurs.

$L_{20^\circ} = 120{,}075 + \frac{0{,}0011\,(12 - 20) \times 120{,}075}{100} = 120{,}0644$ m ; *avec un ruban trop long on mesure trop court et inversement.*

D'où la correction d'étalonnage à 100 m pour un mesurage à 20 °C :

$$c_{E_{100^m 20^\circ}} = \frac{(120{,}037 - 120{,}0644) \times 100}{120{,}037} = -0{,}023 \text{ m}$$

La tolérance commerciale sur la longueur nominale d'un double décamètre ordinaire en acier de classe II est égale à 4,3 mm, celle d'un double décamètre de précision de classe I, doté d'un certificat d'étalonnage, de 2,1 mm.

Ruban suspendu horizontal

Le ruban est tenu « à l'horizontale estimée », en tout ou partie, partiellement ou totalement suspendu, les extrémités étant « descendues » au sol à l'aide d'un fil à plomb (fig.7) ; la somme des ressauts horizontaux successifs est censée représenter la distance horizontale Dh entre A et B.

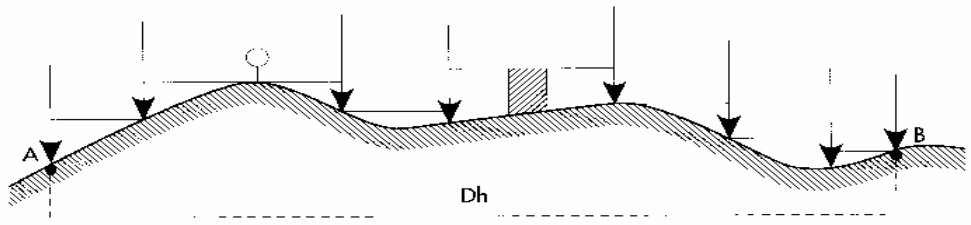


Fig . 7 : ressauts successifs

En pratique, ce mode de mesurage est long, délicat à mettre en œuvre et peu précis ; il ne peut être employé raisonnablement que pour des mesures de détail quand aucune autre méthode n'est immédiatement utilisable ; les opérateurs doivent chercher à avoir toujours le maximum de points d'appui.

4. LE JALON

Description

Le jalon est un baton en bois, en fibre de verre, en tube d'acier ou d'aluminium de 1, 50 à 3 m de longueur. Il peut être d'une seule piece ou démontable. Il est peint en générale de bandes alternées rouges et blanches parfois fluorescentes afin qu'il soit bien visible tant sur fond clair que sur fond foncé. Sa partie inferieure est munie d'une pointe en acier grâce à la quelle il peut être enfoncé dans un sol (fig. 8).

Fig. 8

But

A partir d'un piquetage préétabli, les jalons constituent un matériel pratique pour visualiser à tout moment sur le terrains les alignements nécessaires à la réalisation de travaux tels que : divisions de parcelles, axes de murs, alignements de façades, etc.

Manipulation du jalon

L'aide tient en sa partie haute, entre le pouce et l'index et à bras mi – tendu, le jalon qui par son propre poids se maintient à la verticale. La pinte du jalon doit se situer à environ 5 cm du sol de façon a pouvoir se mouvoir librement (fig. 9). Au signal de l'opérateur, le jalon glissera jusqu'à terre et sera alors planté dans le sol verticalement àl'aide des deux mains.

Fig. 9

Attention :

Ne jamais frapper sur la tête du jalon pour l'enfoncer dans le sol.

Contrôler ensuite sa verticalité à l'aide d'un niveau à jalons ou d'un fil à plomb de maçon ou d'archtecte (toupie).

Ce contrôle se fait sur deux plans perpendiculaires et d'une distance de deux pas environ.

On peut éventuelement viser l'arête d'un bâtiment existant en y amenant le jalon parallèle (fig. 10).

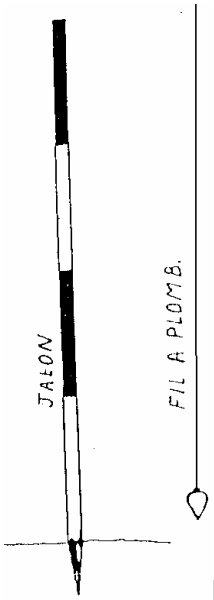


Fig. 10

Un trépied à jalon sera utilisé là ou il est imposible de planter les jalons à la main (sols durcis, revètement de route, d'aire en béton, etc.).

Ce trépied possède à sa partie supérieure soit un anneau dans lequel se glisse le jalon, soit une pince, laquelie permet de maitenir le jalon (fig. 11).

Un jeu de jalon comporte 12 pièces.

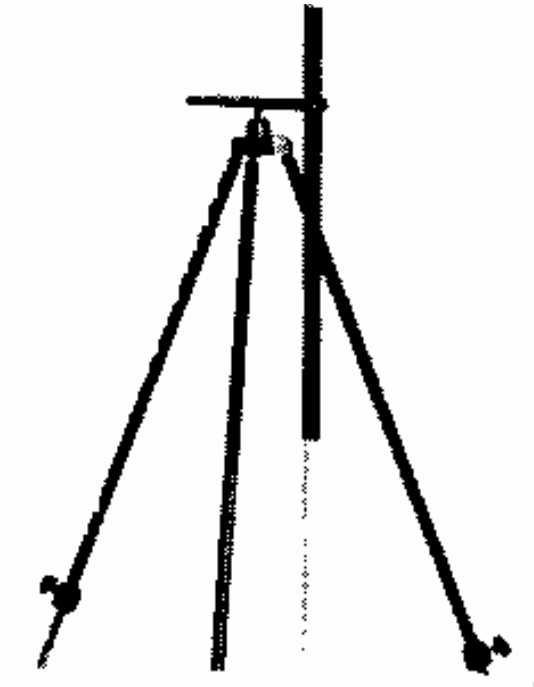


Fig. 11

1. LA MIRE PARLANTE.

Ainsi dénomées pour que l'opérateur puisse lire la hauteur sans quitter la station. La mire parlante est une latte graduée en bois léger recouvert de plastique ou de laque, ou en aluminium. La longueur est de 3, 4 ou 5 m. Pour faciliter le transport, la mire peut être constituée de plusieurs parties pliables, emboîtables ou coulissantes.

La face arriere comporte généralement :

Un dispositif de blocage pour maintenir la mire dépliée, assemblée ou déboîtée ;

Un jeu de poignées fixes ou repliables ;

Un petit niveau sphérique à bulle d'air amovible ou non,et qui sert à vérifier la verticalité de la mire.

Il existe trois types de mire :

- la mire parlante droite
- la mire parlante à l'envers
- la mire parlante universelle

Mire parlant droite

On l'utilise lorsque la lunette donne une image droite.

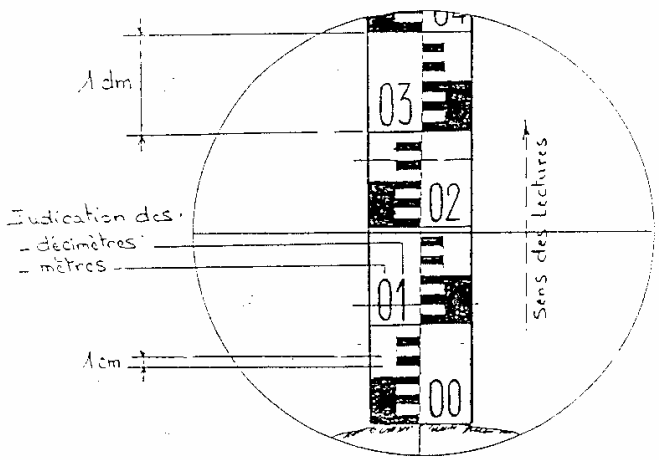


Fig. 12

Mire parlante inversée

On l'utilise lorsque la lunette donne une image inversée.

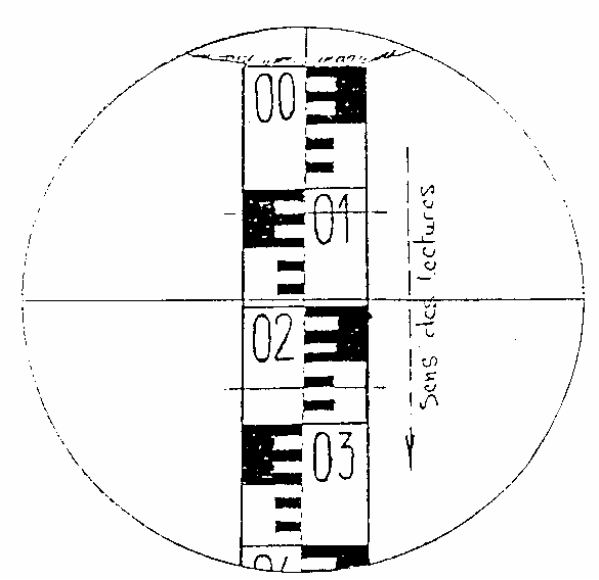


Fig. 13

Mire universelle

On l'utilise dans les deux cas :

image renversée image droite

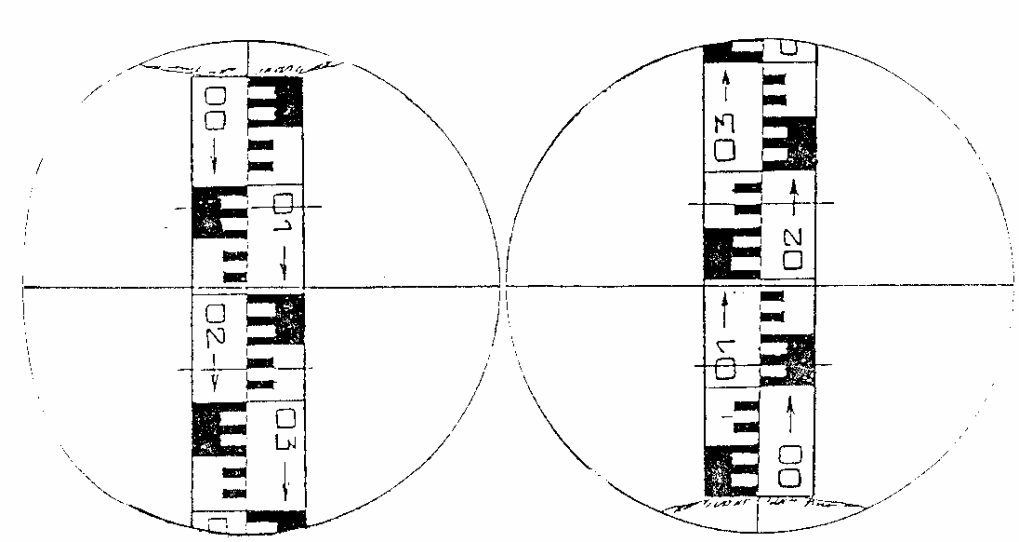


Fig. 14

Graduation

Le partage de la mire se fait de décimètre en décimètre. Chaque décimètre est délimité le plus souvent par des traits fins et noirts disposés alternativement sur la moitié gauche, puis sur la moitié droite de la largeur de la latte. Chaque décimètre est également partagé en deux groupes de 5 cm. L'un des groupes forme la lettre E majuscule d'imprimerie généralement alternée et inversée, dont chaque branche noire (ou rouge) et chaque intervalle blanc font 1 cm. L'autre groupe est representé par des petits rectangles noirs (ou rouges) alternant avec des intervalles blancs de 1 cm.Chaque mètre est represente alternativement en noir, puis en rouge.

Chiffraison

La chiffraison diffaire d'un modele à l'autre. Elle est soit droite ou soit inversée (suivant le niveau de chantier employe). Dans les deux cas, elle progresse, vue à l'œil nu, de bas en haut et les inscriptions nous indiquent toutes, des longueurs exprimées en mètres et décimètres. L'utilisateur reteindra que *les chiffres à l'intérieur d'un décimètre indique le nombre des décimètres précédents*. Dans la mire dite à graduation universelle,une flèche indique le sens de progression de la lecture (fig. 15) .

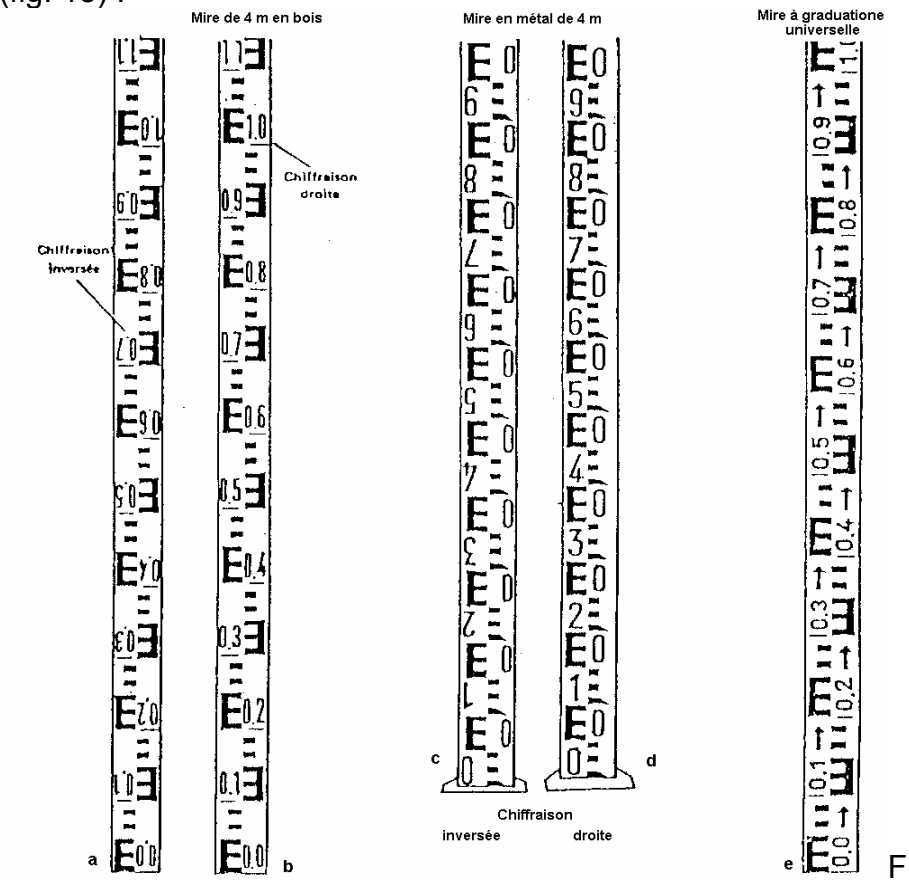


Fig. 15

Utilisation

La mire s'emploie pourlire les hauteurs grâce au niveau de chantier. Le pied de la mire qui porte la marque du zéro de la division doit être tenu sur le point à niveler. La mire sera tenue bien verticalement dans les deux sens.

Lecture de la mire

La lecture de la mire se fait en énonçant mille pour le chiffre des mètres, cent pour les décimètres, dix pour les centimètres et unité pour les millimètres. La plus petite graduation étant le centimètre (petit rectangle noir), on doit estimer l'évaluation du millimètre.

Lecture sur la mire

Lecture au fil niveleur :

Amener le trat vertical dans l'axe de la mire à l'aide de la vis de rappel en azimut. Effectuer la lecture. Si plusieurs lectures sont faites de la même station, vérifier avant chaque lecture la coincidence des demi – bulles.

Lecture aux fils stadimètriques :

La demi – somme des lectures aux fils stadimètriques est égale à la lecture au fil niveleur. La différence des lectures aux fils stadimètriques multipliée par 100 donne la distance entre le niveau et la mire.

Exemple mire parlante droite :

Lecture au fil niveleur	0195	(0m 195)
Lecture aux fils stadi.	inférieur	0120
	Supérieur	0270
	Somme	0390 / 2 = 0195

Distance entre le nivfau et la mire

Fil stadi.	supérieur	0270
Fil stadi.	inférieur	0120
	Différence	0150 soit 0,15 x 100 = 15 m

2. LE TREPIED

Tous les instruments (niveau de chantier, théodolite, niveau blaser) ont besoin d'une très bonne base (stabilité) pour pouvoir vous donner des lectures précises. Cette base, c'est le trépied (fig. 16).

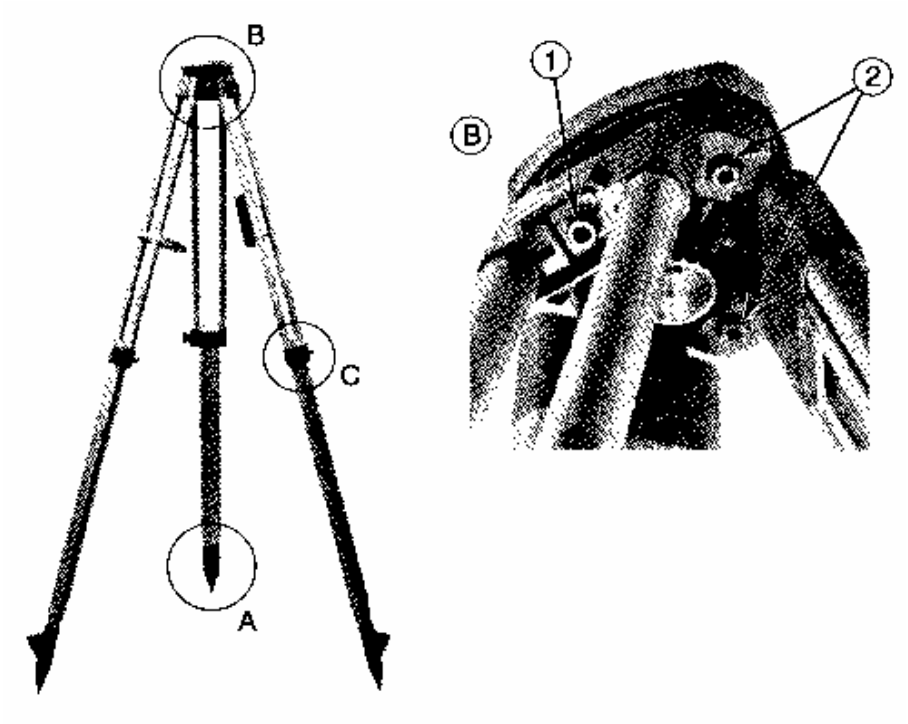


Fig. 16

Le trépied est constitué de trois pattes ajustables (généralement en bois ou en aluminium) réunies par des pièces métaliques. Les éléments métaliques doivent être serrés de manière à assurer un bon étrésillonnement des pattes et une bonne liaison avec la tête (B) et les pointes du trépied (A).

Les vis (1B) ne doivent pas être trop serrées, de façon à conserver une certane élasticité au bois. Les écrous (2B) servent à régler le mouvement des pattes, qui doitêtre léger, tout en permettant de mantenir l'écartement.

Les pointes du trépied (A) doivent être parfaitement stables sur le sol. Les vis au centre des pattes (C) permettent d'ajuster la hauteur de l'instrument à une position confortable pour l'opérateur ou l'opératrice et de faire la correction du dénivellement du terrain de façon à ce que la **tête** du trépied soit approximativement au niveau, avant d'instaler l'instrument sur celle-ci.

Pour raccorder l'appareil au plateau, il suffit de visser la pompe à vis située sous ce dernier, à l'intérieur de l'évidement taraudé pratiqué à la partie inferieure de l'embase de l'appreil. La pompe de serrage est dotée d'un crochet de suspension auquel on fixe un fil à plomb, ou bien est pourvue d'un filetage pour la fixation d'une canne à plomber.

Mise en station

La mise en station d'un instrument consiste à caler l'axe principal à la verticale d'un point de station donné. La méthode de mise en station détaillée dans ce paragraphe suppose l'instalation d'un trépied clasique (par comparaison au trépied centrant Kern). Elle donne toutefois le principe de base commun à tous les types de trépieds. Cette méthode évite l'emploi du fil à plomb qui, dans la pratique,est peu commode : trop sensible, inutilisable dans un vent même faible et le plussouvent introuvable….

Mise à hauteur du trépied

La mise à hauteur du trépied s'effectue comme suit :

- Fixez l'appareil sur le trépied en prenant soin de vérifier que les trois vis calantes sont à peu près à mi-course.

-Réglez l'oculaire à la hauteur des yeux de l'opérateur (ou mieux, légèrement en dessous de cette hauteur : il est plus facile de se baisser que de se hausser). Profitez en pour régler la netteté du réticule de visée. Pourcela, utilisez les graduations en dioptries de l'oculaire.

Calage grossier d'approche

Si vous devez mettre en station sur un point donné :

soulevez deux pieds du trépied tout en regardant dans le plomb optique et déplacez l'ensemble afin de positionner le plomb optique prés du point de mise en station (inutile à ce stade de le positionner exactement sur le point). Enfoncez ensuite les pieds dans le sol puis *positionnez le plomb optique exactement sur le point au moyen des trois vis calantes.* A cet instant, l'axe principal passe par le point de station mais n'est pas vertical.

Si vous ne devez pas mettre enstation sur un point donné (station libre) :

reculez vous pour vérifier que l'appareil ets à peu près vertical, puis enfocez les pieds du trépied dans le sol.

Si vous devez mettre en station sous un point donné :

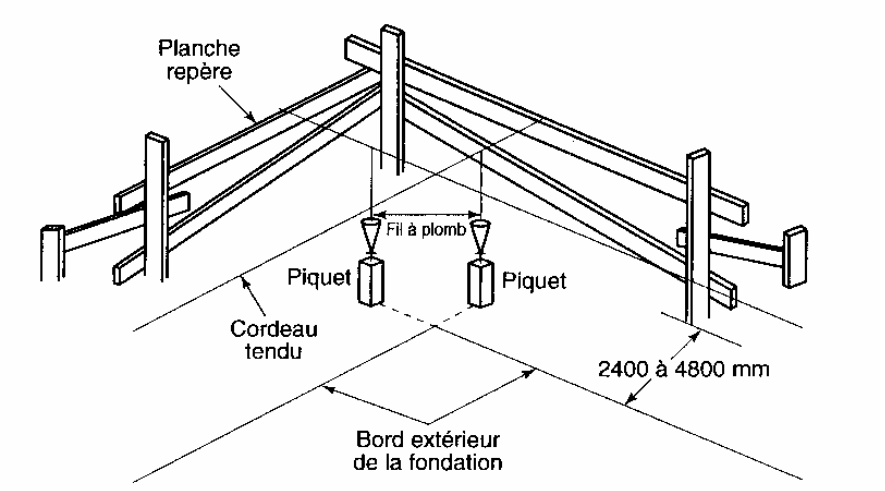
utilisez soit un fil à plomb pendant depuis le point « au plafond » jusqu'au rep »re situé sur le dessus de la lunette de l'appareil (en position de réferance), soit un viseur zénital.

3. FIL A PLOMB.

Le fil à plomb de forme généralement conique possède une tête permettant de fixer une corde. Très emplyé lors de la mise en station d'un instrument de nivellement pour centrer celui-ci sur le point de repère, il donne la **verticalité parfaite,** puisqu'il pointe droit vers le centre de la terre.

Il vous servira aussi pour faire le transfairt de la jonction de vos cordeaux d'alignement au fond de l'excavation, en positionnanat votre fil à plomb et en prolongeant les lignes, ce qui vous donnera le coin et le bord extérieur de la fondation (fig. 17).

Fig. 17



L'emploi du fil à plomb , dans la pratique,est peu commode : trop sensible, inutilisable dans un vent même faible et le plussouvent introuvable….

4. PLOMB OPTIQUE.

Le plomb optique est incorporé dans le théodolite pour faire des relevés d'angle et il doit être régler avant proceder d'un mise en startion. Le principe de réglage du plomb optique est : lors d'un rotation de 200 gr de l'alidade, unplomb optique bien réglé revient exactement sur le point de station, un plomb déréglé se décale de ce point d'une valeur correspondant au double du défaut de réglage. Poir le régler, procédez ainsi :

- Marquez sur une feille de papier fixée au sol (ou sur une planchette enbois) un pont (P0, fig. 18) qui sera le point où vous devez stationner le théodolite à l'aide des **vis calantes exactement** sur ce point sans s'occuper des nivelles.

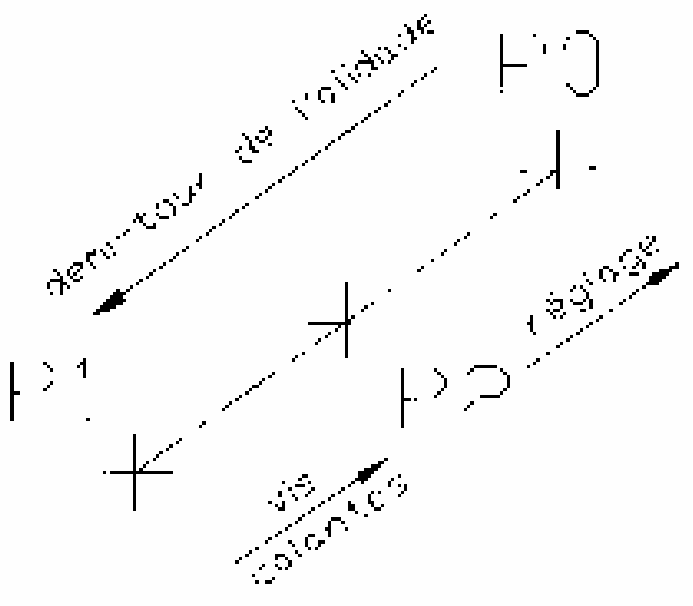


Fig. 18

Faites un demi-tour de l'alidade et marquez sur la feuille le nouveau pointP1 pointé par le plonb optique : si celui-ci est trop éloigné (plus de 2 mm) du point de station initial P0, plasez sur le papier le point P2 au milieu de la droite PO-P1 et utilisez les **vis calantes** pour positionner le plomb optique exactement sur P2 ; ainsi la moitié de l'erreur est rattrapée. Utilisezensuite les **vis de réglage du plomb optique** pour positionner le plomb optique exactement sur le point P0 et rattrapez ainsi la seconde moitié de l'erreur. Vériufiez en reprenant toute la manipulation que le plomb est bien réglé.

Remarque

Le réglage précédent n'est possible que si le plomb optique est situé sur l'appareil. S'il est situé sur l'embase, il fodra utiliser un fil à plomb (principe plus simple mais manipulation plus délicate).

1.GÉNÉRALITÉS

Un niveau du chantier est constitué par une lunette à fort groissement (18 à 24 fois),liée solidairement à une nivelle tubulaire. Actuellement on trouve des niveaux automatiques qui ne nécessitent plus l'emploi de cette nivelle grâce à un compensateur. Les niveaux employés généralement sur chantier permettent une lecture aisée pour des distances instrument-jalon de 60 à 80 m et même davantage.

2.CONSTRUCTION.

Le niveau de chantier (fig. 20) se compose essentiellement :

a) d'une lunette de visée (fig. 19) comprenant (fig. 20) :

- un *objectif* (1), constitué d'une grande lentille à l'avant de la lunette ;
- un *oculaire* (2), orienté vers l'opérateur et constitué d'une petite lentille qui agrandit l'image de l'objet visé donnée par l'objectif ;
- un *réticule* (3), constitué par une plaquette de verre sur laquelle sont gravés différeants traits fins, à savoir :
- deux diamètres d'équerre : l'un horizontal appelé *fil niveleur* l'autre vertical ;
- deux petits traits horizontaux coupant le diamètre vertical à égale distance du diamètre horizontal et appelés *fils stadimètriques*. Ceux-ci permetteent la mesure optique de *distance* (fig. 21).

Note : les appareils anciens donnent en générale un image inversée. Mais actuellement les appareils sont les plus souvent équipés d'un prisme redresseur donnant une image droite de l'objet visé.

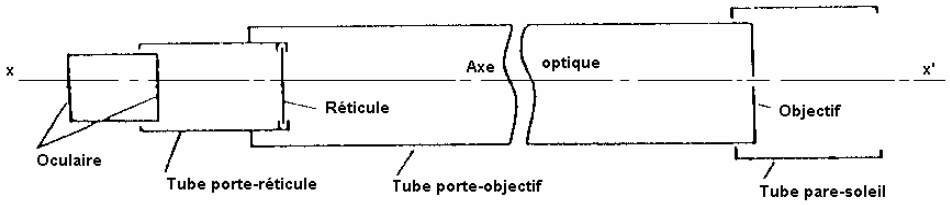
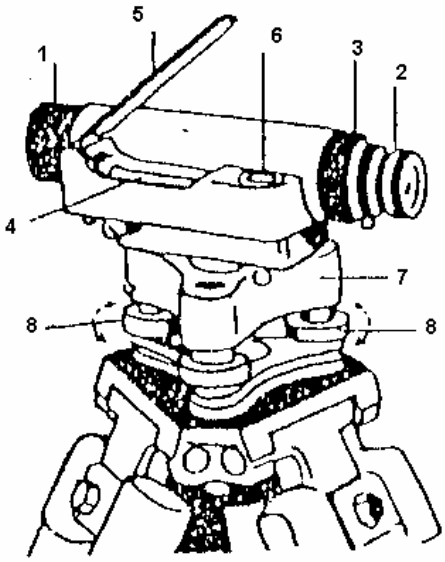


Fig. 19

b) d'une nivelle tubulaire (4) (fig.20) :

cette nivelle à bulle d'air est identique à la fiole qui équipe le niveau du maçon, à savoir untube de verre, ayant la forme d'un tore,rempli incomplètement d'alcool ou d'éther (afin d'éviter le gel aux basses températures), emprisonne une bulle d'air (en réalité de gaz) qui se forme à la partie supérieur du tube. La nivelle est considérée de niveau lorsque les extrémités de la bulle occupe des position se désigne par l'expresion : « appeler ou amener la bulle entre ses repères ».



Niveau à lunette

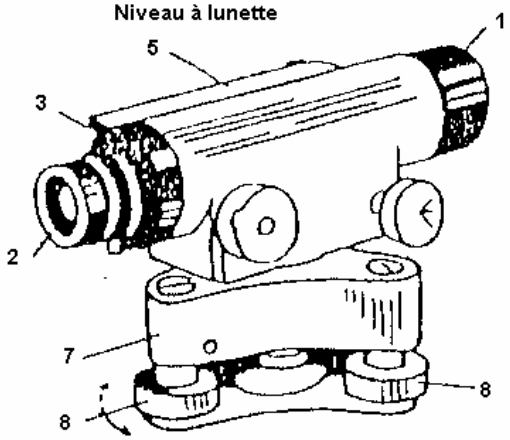


Fig. 20

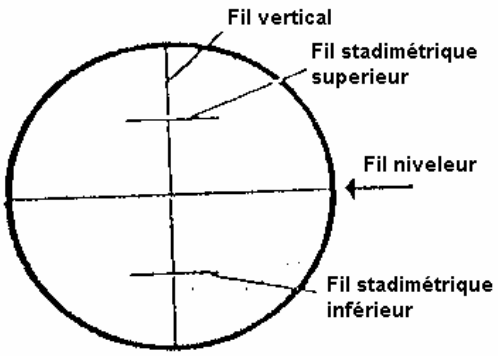


Fig. 21

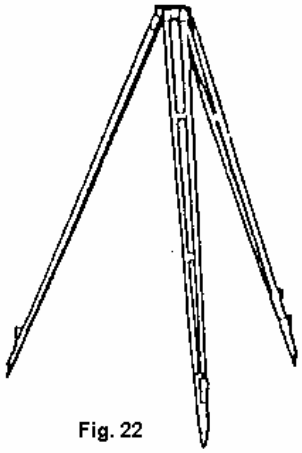


Fig. 22

Cette nivelle s'observe soit directement, soit dans un miroir métalique rabattable (5), soit dans un viseur approprié et dans ce dernier cas prend le nom de « nivelle à coincidence ».

c) d'une nivelle sphérique (6) (fig. 20) :

- cette nivelle également à bulle d'air permet un calage approximatif. Elle peut s'observer de la même manier que la nivelle tubulaire.

d) d'une embase (7) (fig. 20) qui supporte le pivot de la lunette.

Cette embase peut être constituée de différentes manieres :

1) embase constituée par un triangle à 3 vis calantes (8) qui serviront au réglage de la nivelle tubulaire ;

2) embase constituée par un support à rotule, le basculement de l'appareil sur cette rotile permettant un calagreapproché grâce à la nivelle sphérique ;

3) embase fixe dotée de 2 vis orthogonales permettant un calage très approshé et rapide de la nivelle sphérique.

e) d'un trépied :

- il comporte trois branches simples ou double, réalisées chqune en 2 parties coulissantes. Les branches s'articulent à une tablette métalique, le plateau, au moyen d'écrous à ailettes. Pour raccorder l'appareil au plateau, il suffit de visser la pompe à vis située sous ce dernier, à l'intérieur de l'évidement taraudé pratiqué à la partie inférieure de l'embase de l'appareil. La pompe de serrage est dotée d'un crochet de suspension auquel on fixe un fil à plomb, ou bien est pourvue d'un filetage pour la fixation d'une canne à plomber n(fig. 22).

f) d'un cercle horizontal (fig. 20) :

- la plipart d'entre eux comportent un cercle horizontal divisé en grades ou en degrés, pour la mesure ou l'implantation des angles. Dans ce cas, le pied utilisé comporte un plateau à translation afin de faciliter la mise en station de l'appareil à l'aplomb d'un point donné.

3. MISE EN STATION.

Processus des opérations :

A. Choix judicieux de l'emplacement de la station à l'intérieur d'un chantier qu'on implante :

- se placer en dehors des chemins de circulation piétonièr ou des véhicules de chantier ;
- se placer de façon à ce que le point de stationnement permette de viser, sans obstacle gênant, le maximum des points à niveler.

B. Mise en place du trépied : Afin d'assuerer la stabilité de l'appareil, il faut :

1) trouver pour le trépied des points d'appui stables :

- si le sol le peret, enfoncer les pieds à refus dans le terrain, jusqu'à la sousface de la pédale que comporte chaque branche du trépied ;
- si le sol est dur, cas de nivellement sur air de béton, repérer les inégalités du sol pour caler au mieux le trépied.

2) Donner un écartement convenable aux branches du trépied, en faisant coulisser les rallonges à la demande, sans omettre de tenir compte de la taille de l'opérateur le moins grand, s'il s'agit de travail en équipe.

3) S'assurer que les écrous de l'articulation des branches et des rallonges coulissantes sont bloqués correctement, mais sans excès.

4) Veiller à ce que le plateau du trépied soit à peu près de niveau, ce qui se juge à l'oeil en faisant le tour du trépied.

C. <u>Fixation de l'appareil sur le trépied</u>

Consignes à respecter :

1) Avant de sortir l'appareil de son boîtier, repérer sa position exacte afin de ne pas commettre d'impair au moment de son rangement.

2) Dans le cas d'un appareil à vis calantes, vérifier que celles-ci ont été amenées à mi-course du filetage, au moment du rangement de la lunette, et s'il s'agit d'un appareil à rotule, que la bague de serrage de celle-ci est libre.

3) Disposer l'appareil sur la platine du trépied; le maintenir d'une main et le fixer immédiatement de l'autre main avec

la vis du trépied. Ne serrer la vis que modérément. Refermer l'étui. Vérifier si les pointes éventuelles des vis calantes s'engagent correctement dans les rainures de la contreplaque.

4) Pour son transport d'une station à l'autre, l'appareil demeure solidaire du trépied; vérifier auparavant que le serrage de la vis du trépied est demeuré correct.

Pour le déplacer, engager l'épaule sous le plateau du trépied, les branches rapprochées du corps, et l'ensemble tenu à peu près verticalement.

D. Calage à l'horizontale

Cette opération consiste à placer l'axe optique dans un plan horizontal, quelle que soit l'orientation de la lunette, et du même coup rendre parfaitement vertical le pivot ou axe principal de l'appareil.

a) Calage approché du pivot :

1) Appareil à rotule :

- desserrer legerement la bague ou la vis de serrage de l'embase et faire basculer legerement l'appareil sur la rotule dans le sens convenable jusqu'à ce que la bulle soit à l'intérieur du repère circulaire gravé sur la fiole;
- serrer la bague ou la vis de serrage.

2) Appareil à vis orthogonales :

- agir en même temps et dans les sens qui conviennent, sur les deux boutons situés sur le champ de l'embase jusqu'à centrage de la bulle.

3) Appareil à 3 vis calantes :

- placer la lunette parallèlement à 2 vis calantes;
- agir sur ces 2 vis tenues entre le pouce et l'index de chaque main en les tournant chacune dans des sens opposés afin d'amener la bulle dans l'axe perpendiculaire à l'axe de visée de la lunette;
- agir ensuite sur la 3e vis calante afin de ramener la bulle au centre du repère circulaire;
- rectifier au besoin avec les 2 premières vis.

b) Calage définitif de la lunette

- Tous les niveaux (sauf l'automatique qui comporte un pendule) comportent une nivelle tubulaire solidaire de la lunette.
- Le réglage final, dit calage définitif de la lunette, consiste à amener la bulle de cette nivelle tubulaire entre ses repères, et cela dans chaque direction de visée.
- Ce résultat s'obtient en agissant sur une

vis placée en general vers l'objectif, vis qui fait basculer la lunette jusqu'à horizontalité parfaite : c'est la vis de fin de calage ou de fin basculement.

- Deux cas peuvent se presenter selon le type d'appareil.

1) La fiole de la nivelle est directement visible. L'image de la bulle s'observe dans un miroir métallique rabattable et la bulle est appelée entre ses repères.

2) La nivelle s'observe dans un viseur à oculaire. L'image vue de la bulle n'est pas entière. Il s'agit alors d'une nivelle tubulaire à dispositif optique à coïncidence, c'est la nivelle à coïncidence. Comment la régler ?

Dans ce type de nivelle on n'aperçoit que les deux demi-extrémités de la bulle; lorsque les images de ces deux demi-extrémités coïncident et forment une courbe continue, la nivelle est réputée de niveau.

ATTENTION ! la nivelle à coïncidence est extrêmement sensible, mais precise. Agir avec douceur sur la vis de fin basculement. Dans les deux cas, on corrige avant chaque lecture, après chaque pivotement de l'appareil, la position de la nivelle tubulaire.

E. Mise au point de la lunette

a) Réglage de l'oculaire

La mise au point des traits du réticule se fait selon le processus suivant :

- diriger la lunette vers un fond clair et uniforme ou tenir une feuille de papier blanc devant l'objectif;
- tourner la bague (bonnette) de l'oculaire vers la gauche ou la droite jusqu'à ce que les traits gravés sur le réticule apparaissent bien nets et bien noirs.

La position de la bague varie selon l'acuité visuelle de l'opérateur.

b) Netteté de l'image ou mise au point de l'objectif

Processus à suivre :

1) Pointer la lunette en direction de la mire, à la main, en utilisant le dispositif de pointage rapide matérialisé au-dessus du corps de la lunette.
2) Serrer le bouton de blocage de direction sans excès.
3) Agir sur le bouton de mise au point de l'objectif jusqu'à obtention d'une image très nette qui se trouve alors dans le plan du réticule, dont les traits semblent toucher l'image de la mire.
4) On peut affirmer que la mise au point est correcte, si en hochant la tête,

L'image de la mire demeure immobile par rapport aux traits du réticule. Sinon, il fautre renouveler les maneuvres precedents, c'est –à-dire parfaire la neteté du réticule et de l'image de la mire (fig. 23).

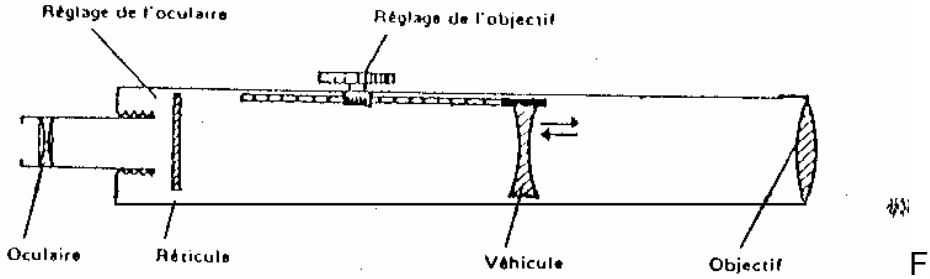


Fig. 23

4. CORRECTION DE LA VERTICALITÉ DE LA MIRE.

A. sens gauche-droite :

c-à-d de part et d'autre de l'axe de visée; c'est l'opérateur qui corrige cette position grâce au fil vertical du réticule;

B. sens avant-arrière :

c-à-d dans le prolongement de l'axe de visée: c'est le porte-mire qui corrige cette position.

Pour ce faire, il se placera non pas derrière la mire, mais sur le côté afin de pouvoir juger à l'oeil de cette verticalité. Il pourra, le cas échéant, se référer au niveau sphérique de la mire, mais c'est à déconseiller, car cela oblige le porte-mire à surveiller constamment la bulle, alors que l'opérateur peut avoir des ordres à lui signaler.

Certaines mires sont dotées de deux poignées qui facilitent leur tenue sans que les mains de l'utilisateur ne se posent sur les graduations.

5. LECTURE DE LA MIRE AVEC LA RÉTICULE.

A. Précisions concernant le réticule

Lorsque l'oculaire est mis au point nous remarquons sur le réticule :

1) un fil diametral horizontal, appelé fil niveleur. Il se trouve dans le plan horizontal de visée et coupe la graduation de la mire sur la cote recherchée et c'est à ce niveau que l'opérateur doit faire sa lecture;

2) deux autres traits horizontaux très courts situés à égale distance du fil niveleur : ce sont les fils stadimétriques ou stadia qui permettent la mesure optique de distance.

Exemple (fig.24) : la portion de mire comprise entre ces 2 traits est égale au 1/100e de la distance comprise entre : l'axe vertical de l'appareil, matérialisé au sol par la pointe du fil à plomb accroché sous la vis à pompe du trépied (point A de la fig.25) et le pied de la mire tenu parfaitement à la verticale sur le point concerné (point B de la fig.25)

La distance AB = (1728 - 1253) x 100

AB = 0,475 x 100

AB = 47,50 m

Un fil vertical diamétral qui sert à assu-

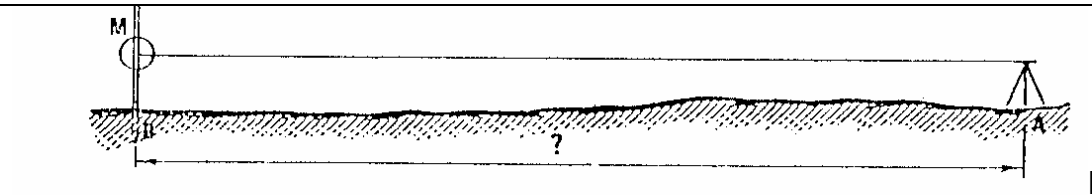


Fig. 24

rer la verticalité de la mire dans la direction droite-gauche ; ce fil doit coïncider avec l'axe de la mire au moment de procéder à la lecture de la cote. Ce fil permete également au cours de relevés ou d'implantation d'angles, de pointer de manière très précise l'axe optique de la lunette sur les points concernés.

B. Manœuvres prèalables

- Avant de proceder à la lecture proprement dite certaines précautions sont à prendre :

1) s'assurer que le bouton de blocage de la lunette en direction est serré;
2) agir sur la vis de fin rappel en direction, jusqu'à ce que le fil vertical du réticule coïncide avec l'axe vertical de la mire : corriger au besoin la position de la mire selon un code convenu avec le porte-mire, soit par exemple, le pouce dirigé vers la droite indique que la mire penche trop vers la gauche, et inversement;
3) vérifier que la bulle de la nivelle tubulaire demeure entre ses repères; agir au besoin sur la vis de fin basculement pour réaliser le fin calage;
4) repérer, dans la lunette, le sens de progression de la chiffraison surtout si la mire ne comporte pas de flèche indicatrice. L'idéal consiste à travailler avec une lu-

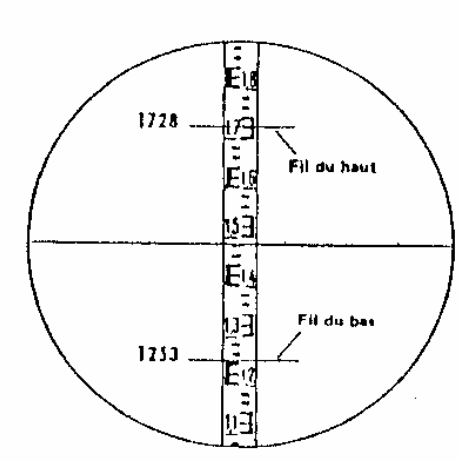


Fig. 25

nette dont l'optique redresse l'image et avec une mire à chiffraison universaille.

C. Mode de lecture de la cote – La cote est indiquée par le fil niveleur et la lecture doit se faire au mm près. Aussi, il est important de respecter la régle d'or qui consiste à prendre en compte toujours 4 chiffres representant, de gauche à droite, les unités suivantes :

m	-	dm		cm	-	mm
1		3		2		8

que nous énoncerons en deux groupes de 2 chiffres, ainsi nous dirons : treize/vingthuit.

- La lecture du 1° groupe de 2 chiffres (m et dm) est aisée puisque le nombre concerné à prendre en compte, est inscrit à l'interieur du décimètre coupé par le fil niveleur : c'est en somme la partie entière (exprimée en dm) de la longueur à prendre en compte.
- La lecture du 2° groupe de 2 chiffres (cm et mm) est plus difficile a apprécier et devra mobiliser toute notre attention. Pour mieux l'expliciter 3 cas difficiles peuvent se rencontrer :

a) Premier cas :

- Le fil niveleur coïncide avec le trait marquant la fin d'un décimètre et en même temps, le début du décimètre suivant (fig. 26 C1)

- Quelle chiffraison faut-il prendre en compte ? 04 ou 05 ?
- Après avoir repérer le sens de progression de la chiffraison nous retiendrons 05, en tenant l'un ou l'autre des raisonnements suivants :

a) "Descendons" le fil niveleur d'un mm : le fil coupe alors la mire à l'intérieur du décimètre comportant l'inscription 04, c-à-d à l'intérieur du 5e décimètre : en réalité nous sommes donc bien à la fin du 5e décimètre et nous lirons 05.

b) "Remontons" le fil niveleur de 1 mm : le fil coupe alors la mire à l'intérieur du décimètre comportant l'inscription 05, c-à-d à l'intérieur du 6e décimètre : comme en réalité le fil n'a pas mordu ce 6e décimètre, nous lirons 05.

Quant au deuxième groupe de 2 chiffres à prendre en compte, ce sera 00, puisque la cote à lire comporte un nombre entier de décimètres.

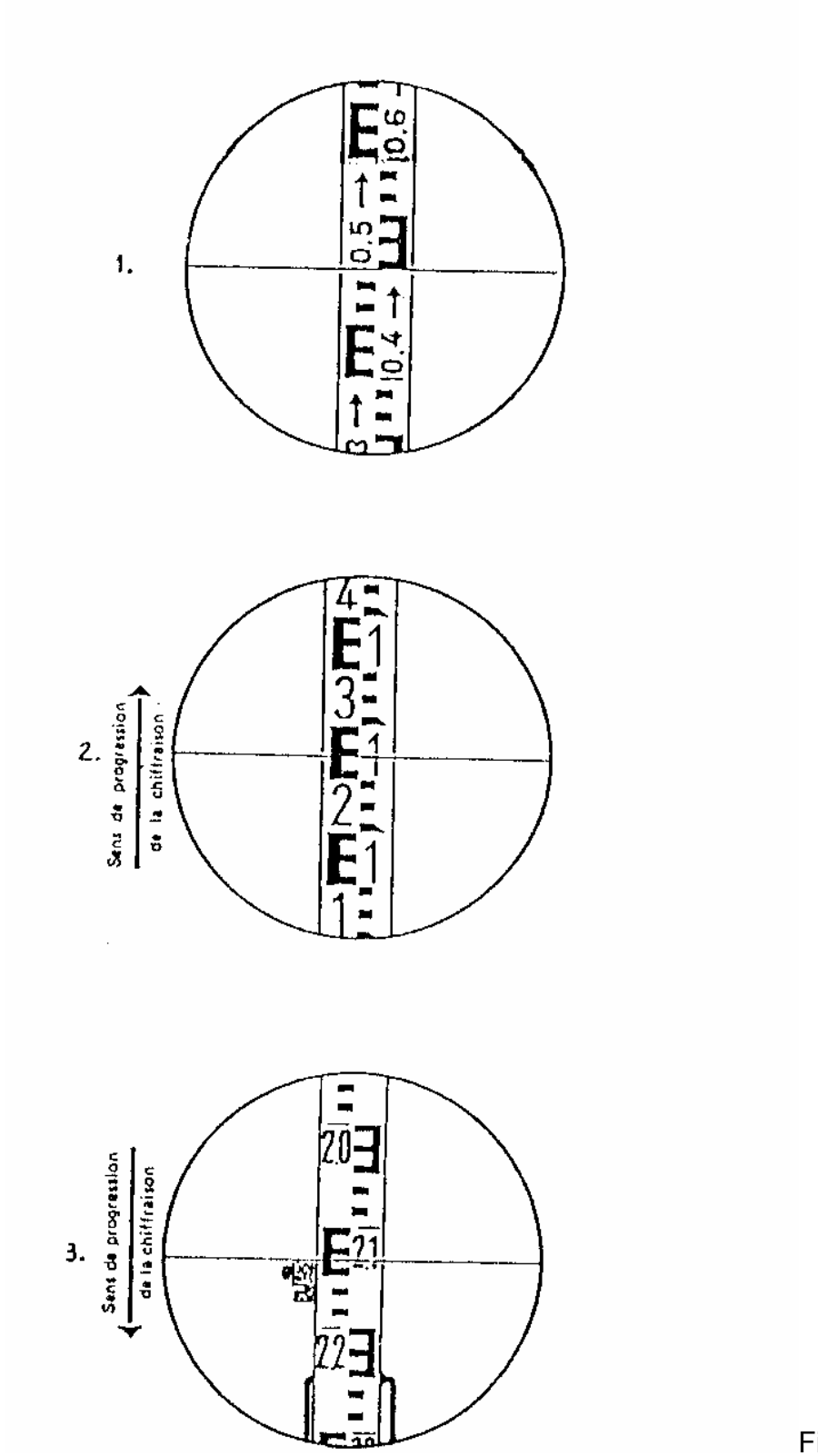

1.
0.6
0.5
0.4
2.
Sens de progression de la chiffraison
4
3
2
1
3.
Sens de progression de la chiffraison
20
21
22

Fig. 26

Finalement, nous énoncerons : zero cinq - zéro zéro et nous transcrirons sur notre carnet la cote suivante : 05 00.

b) Deuxième cas :

- Le fil niveleur se trouve à la limite d'un centimètre, c-à-d que la cote à lire comporte un nombre entier de centimètre. (fig.26C2).
- Après avoir repere le sens de progression de la chiffraison nous lirons 12,70 que nous énoncerons/ douze/soixante dix. En effet le fil niveleur coupe le 13° décimètre, à la limite du 7° centimetre.
- En somme dans ce 2° cas, le second groupe de deux chiffres à lire, d'une part se termine toujours par zéro, et d'autre part ne peut être que l'un des nombres suivants :
- 50, si le fil intersecte le milieu du décimètre.
- 10 - 20 - 30 - ou 40, si le fil intersecte la 1° moitié du décimètre.
- 60 - 70 - 80 - ou 90, si le fil intersecte la seconde moitie du decimètre.

c) Troisieme cas :

- Le fil niveleur coupe l'un des centimètres de la graduation, c-à-d que nous devrons apprécier le nombre de mm a prendre

en compte (fig.26C3).

D. Modalités :

Voici les modalités que nous suggerons :

a) repérer le sens de progression de la chif-fraison et noter le 1° groupe de 2 chif-fres, soit par exemple 21 (fig.26C3);

b) repérer si le centimètre intersecté se trouve dans la 1° ou dans la seconde moitié du décimètre, selon le cas le second groupe de chiffres à lire constituera un nombre plus petit ou plus grand que 50.
Ainsi dans le cas de la fig. 26 C3, le fil coupe la 1° moitié du décimètre;

c) repérer le rang du centimetre intersecté. Dans le cas présent c'est le 4° centimètre qui est coupé, notre lecture peut être un nombre allant de 31 à 39;

d) apprécier le nombre de millimètre à prendre en compte. Si le fil niveleur intersecte le centimètre en deux parties égales, l'appré-ciation est aisée et donne 5 mm. S'il se trouve en-deçà, l'appréciation s'établira entre 1 et 4 mm. Au-delà, elle se situera entre 6 et 9 mm.
Pour cela, chaque demi-centimetre sera di-visé mentalement en 5 parties représentant chacune 1 mm.
Cette appréciation ne peut se faire que pour des portees ne dépassant pas 30 ou

40 m.

Dans le cas de la fig.26C3.

nous énoncerons : vingt et un/trente-deux

E. Conseils pratiques pour assurer une lecture correcte

- Voici quelques remarques dont il faut tenir compte si l'on veut faire du travail sérieux:

1) Donner les consignes adéquates au porte-mire afin qu'il assure la parfaite verticalité de sa règle, et convenir de signaux appropriés.

2) S'assurer que la lecture se fait bien au niveau du fil diamétral horizontal, et non pas au niveau de l'un ou l'autre des fils stadimétriques.

3) S'assurer que la bulle de la nivelle tubulaire demeure entre ses repères au moment de quitter l'oculaire.

4) Placer l'oeil exactement sur le prolongement de l'axe optique, et à cet effet disposer l'appareil à hauteur convenable au moment de la mise en station, et surtout à la hauteur qui convient à l'opérateur le plus petit s'il s'agit de travail en équipe.

5) Eviter de piétiner le sol autour du trépied.

6) Ne pas confondre cm et mm, dm et m; pour

cela respecter le principe de la lecture en deux groupes de 2 chiffres, en sachant que le dernier chiffre à droite désignera toujours des mm.

7) Effectuer la lecture sans prendre appui sur le trépied ou sur le corps de l'appareil.
8) S'entrainer à de nombreux exercices de lecture de mire, avant de se lancer dans des opérations de nivellement sur des parcours accidentés.

F. Niveau de chantier + mire

- L'emploi du niveau de chantier et de la mire permet de remplacer la règle à niveler par un plan horizontal optique.
- Lorsque l'axe optique de l'appareil est parfaitement horizontal il est possible de mesurer les différences de niveau entre cet axe et différents points du terrain.

Procedé

- Soit 2 points dont on veut mesurer la différence de niveau :

1. Placer le niveau de chantier en station à mi-chemin entre ces deux points.
2. Créer un plan de comparaison qui est le plan horizontal de visée passant par l'axe optique de la lunette.

3. Placer la mire successivement aux deux points à niveler ; la différence des lectures effectuées sur la mire, dites « cotes lues », représente la difference d'altitude entre ces deux points (fig. 27D).

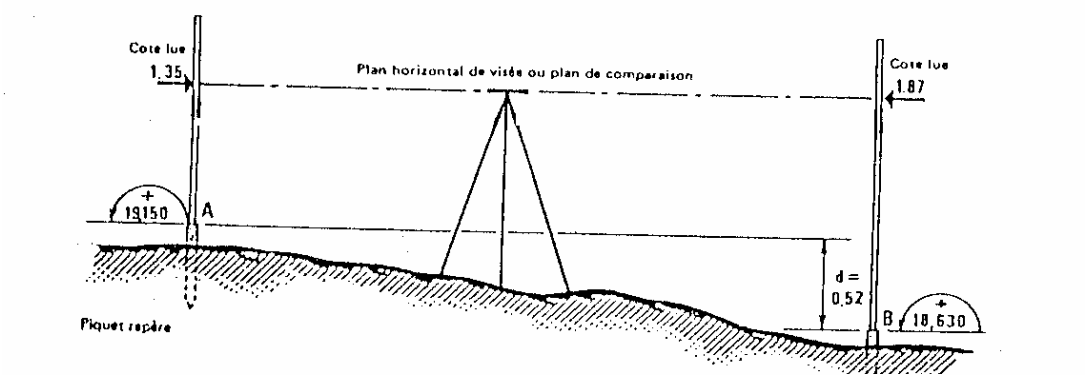


Fig. 27D

V. NIVEAU DE CHANTIER AUTOMATIQUE

1. GÉNÉRALITÉS.

Pour déterminer des différences de niveau **avec précision** et sur de grandes distances, il est nécessaire de définir la ligne de visée à l'aide d'un instrument approprié : le niveau. Il existe de nombreux types de niveau, à commencer par le niveau automatique, qui vous est présenté ci- après. Pour définir une ligne de visée, tous les niveaux sont équipés d'une lunette grossissante permettant de faire des lectures horizontales avec précision sur une mire. Les niveaux automatiques (fig. 28) ont la particularité de pouvoir être mis en station rapidement et précisément.

Fig. 28

Les ajustements des niveaux autimatiques varient en fonction des modèles et des fabricants. Cependant, les principales composantes des niveaux demeurent identiques. La figure 29 vous montre ces composantes.

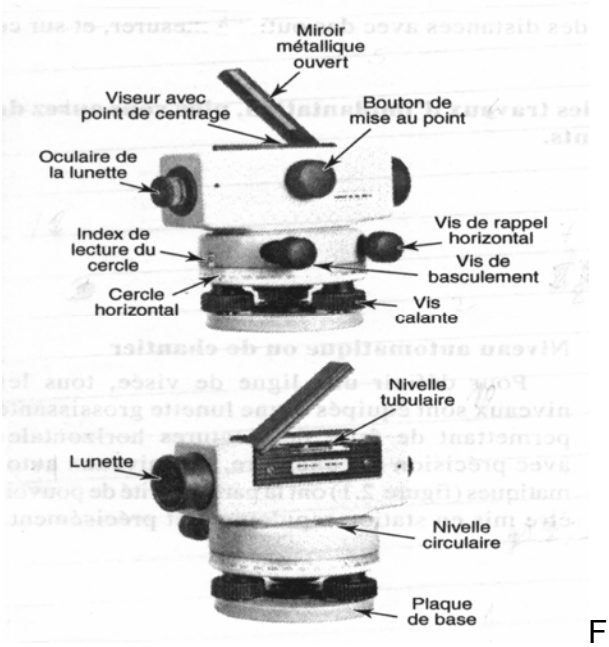


Fig. 29

Pour niveler avec un niveau automatique, il suffit de caler l'axe vertical de l'instrument à l'aide de la nivelle circulaire et d'effectuer les mesures immédiatement après. Suite à la mise en station vous avez donc quatre opérations à exécuter :

- diriger la lunette sur la mire à l'aide de son viseur ;
- obtenir une imagenette à l'aide du bouton de mise au point ;
- pointer le centre de la mire avec la vise de rappel horizontal ;
- lire la mire (fil horizontal du réticule, figure 30).

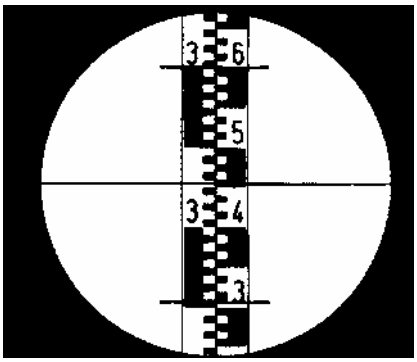


Fig. 30

lorsque vous regardez par l'oculaire, vous devez voir parfaitement une croix qui se nomme **réticule.** La mise au point se fait à l'aide de la vis de l'oculaire. C'est la ligne horizontale qui vous donne la lecture sur la mire.

Les niveaux sont munis d'un **cecle horizontale** (Fig. 31) , vous permettant de mesurer des angles suivant la gradation en degrés ou en grades (1/400 d'un cercle).

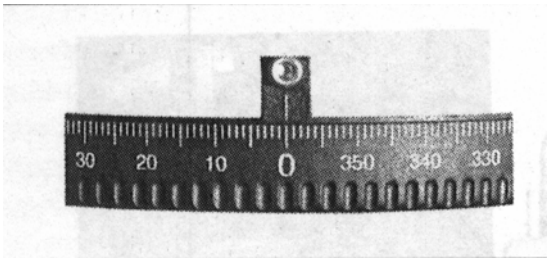


Fig. 31

Son bord strié vous permet de le placer facilement sur zéro ou sur toute autre valeur. Ce cercle horizontal est d'une importance capitale pour faire des lectures d'angles lors de l'implantation.

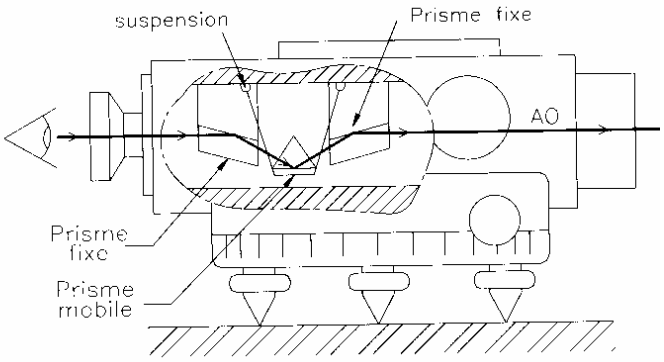
2. LE NIVEAU AUTOMATIQUE.

Par abus de langage certains niveaux sont dits « automatiques » laissant croire que tout se passe sans intervation humaine. Comme nous savons la nivelle sphérique permete unréglage d'approche de la verticalité de l'axe principale.Lorsque

celui-ci est proche de la verticale (dans une certaine plage de débattement), l'axe optique est automatiquement positionné à l'horizontale par un **compensateur** qui, schématiquement, est un système mobile soumis à la pesanteur : sur la figure 32, le compensateur est composé de deux prismes fixes et d'un prisme mobile, libre d'osciller, suspendu à l'appareil par des fils. Sous l'action de la pesanteur, la rotation du prisme mobile assure l'horizontalité de la ligne de visée. Le compensateur peut aussi être basé sur l'équilibre d'un liquide, par exemple le mercure.

Le compensateur fonctionne dans une **plage débattement** donnée : en dehors de cette plage, le mécanisme est en butée et ne remplit plus son rôle ;à l'intérieur de cette plage, le compensateur oscille lubrement. Cette plage est par example de 30'(0, 6 gon) pour un NA2, ce qui est supérieur à la sensibilité de la nivelle de manière à être certain que l'automatisme ne soit pas en butée.

La **précision de calage** obtenue par ce type d'appareil est exellente : par exemple ±0,3 ''(0, 9dmgon) pour un NA2 induit un écart de ± 0,05 mm sur la mire à 35 m.



Flg. 32

Un **bouton de contrôle**, souvent appelé par erreur automatisme dans les documentations,permet de s'assurer du bon fonctionnement du compensateur. L'opérateur appuie sur ce bouton avant d »effectuer chaque visée, ce qui fait osciller le prisme mobile. Il peut ainci s'assurer que l'image de la mire oscille librement et se stabilise rapidement.Ceci permet de contrôler que le niveau est toujours bien positionné avant chaque mesure. Pour qu'il soit utilisable, le compensateur doit avoir un temps d'oscilltion très court ; il est donc amorti de manière magnétique (aiment permanent),pneumatique, etc. Sur certains appareils, comme le NA820 ou NA824 de Leica, ce bouton de contrôle est remplacé par un **voyant** intégré à la optique de visée : on le voit donc en permanence pendantla visée ; il vire au rouge lorsque le compensateur best en dehors de la plage de fonctionnement.

La fiabilité, la facilité d'emploi et la précision des appareils dits « automatiques » font qu'ils s'imposent depuis quelques années comme matériel de base pour tous les types de nivellement.

a) <u>La lunette :</u> C'est une lunette du type »lunette astronomique » composée d'un **oculaire**(o), d'un **objectif**(b), d'un dispositif de **mise au point**(m) et d'un **réticule**(r), (fig. 33).

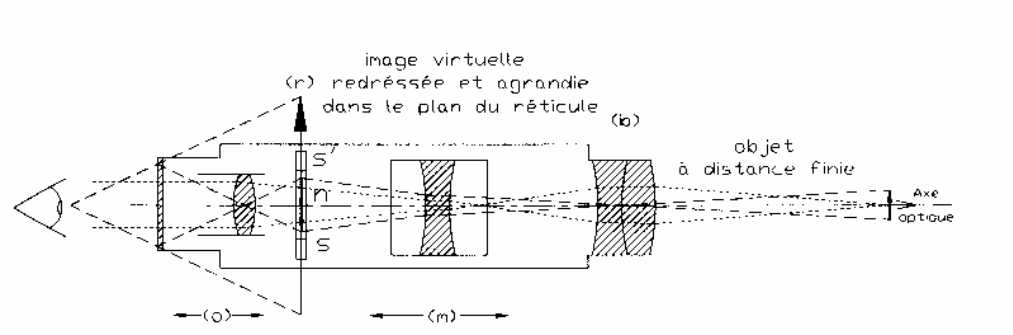


Fig. 33

Placé du coté de l'objet, l'**objectif**(b) est un système optique fixe convergent à grande distance focale qui fournit une image virtuelle renversée de l'objet visé. La mise au point est fait par une lentille divergent mobile (m).

Placé du coté de l'œil, l'**oculaire** (o) est un ansemble de lentilles, dont certaines sont mobiles, qui permet d'agrandir et de redresser l'image virtuelle de l'objet. **Le réticule** (r) est une plaque de verre sur laquelle sont gravées des lignes définissant l'axe optique (fil niveleur (r) et fil vertical (v), fils stadimétriques (s') et (s), fig. 33 et 34). **L'axe optique** est la droite joinant la croisée des fils du réticule et le centre optique de l'objectif. La lunette bschématisée sur la figure 33 est une lunette à mise au point interne, technologie actuellement la plus courante dont l'avantage principalets une meilleure étanchité. Le schéma optique, simplifié, fait apparaître une première image de l'objet visé inversée et mise au point dans le plan du réticule par l'ensemble objectif(b) et lentille mobile (m). Cette image est ensuite redressée et agrandie par l'oculaire (o). La mise au point de l'oculaire est telle que l'observateur accommode ses yeux **à l'infini, position la plus reposante** pour une personne n'ayant pas de problèmes de vue. On conseille d'ailleurs souvent de garder les deux yeux ouverts lorsque l'on regarde dans une lunette de ce type. Le **réglage de la netteté du réticule et de l'image** de l'objet visé se fait comme suit :

1- réglage de **l'oculaire** jusqu'à obtenir la netteté maximale sur les fils du réticule, l'objectif étant calé à l'infini ;

2- réglage de **l'objectif** : amener l'image de l'objet visé dans le plan du réticule, A la fin de ce deuxième réglage , l'image et le réticule doivent être nets. Affiner si nécessaire ; Pour contrôler la qualité d'un réglage, l'opérateur peut, en déplaçant la tête devant l'objectif soit de gauche à droite soit de haut en bas, s'assurer qu'il n'y a pas de **parallaxe**. S'il y a du parallaxe, les fils semblent se déplacer par rapport à l'image puisque l'image n'est pas exactement dans le plan du réticule.

Les caractéristiques d'une lunette sont :

Le grossissement G est défini comme le rapport entre l'angle sous lequel on voit un objet à travers l'objectif et l'angle sous lequel il est vu à l'œil nu. Il est approximativement égal au rapport des distances focales de l'oculaire et de l'objectif ($G= F_{objectif} / f_{oculaire}$).

Par exemple, pour un télescope astronomique du type Newton, la distance focale du miroir étant de 1000 mm, la distance focale de l'oculaire étant de 8 mm, on obtient un grossissement de 125×, largement suffisant pour distinguer les anneaux de Saturne ou les satellites de Jupiter...

La **clarté** d'une lunette est le rapport entre l'éclairement obtenu à travers l'optique et celui obtenu à l'oeil nu. Plus le grossissement G est important, moins la lunette est claire.

Le **champ** est la partie de l'espace visible à travers la lunette. Plus le grossissement est important, plus l'angle de champ est petit. Un champ maximal est souhaitable pour le côté pratique de l'utilisation de l'instrument.

Le **pouvoir séparateur**, ou acuité visuelle, est l'angle minimal à partir duquel deux points peuvent être distingués. Le pouvoir séparateur de l'oeil humain est de l'ordre de 4 cgon en visée monoculaire. Pour une lunette de grossissement G, il est d'environ $200/G$ dmgon, par exemple, 10 dmgon pour un grossissement $G = 20$.

Les **aberrations** de l'optique sont les différents défauts des lentilles et groupes de lentilles : sphéricité, astigmatisme, chromatisme, courbure de champ, volume de champ et distorsion. Ces défauts sont corrigés au mieux par la combinaison de plusieurs lentilles convergentes et divergentes composées de matériaux différents.

b) Lectures sur mire

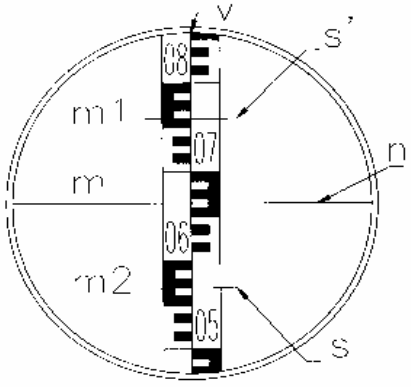


Fig. **34***: Réticule de visée*

La mire est une échelle linéaire qui doit être tenue verticalement (elle comporte une nivelle sphérique) sur le point intervenant dans la dénivelée à mesurer. La précision de sa graduation et de son maintien en position verticale influent fortement sur la précision de la dénivelée mesurée.

La mire classique est généralement graduée en centimètre. La **chiffraison** est souvent en décimètre (fig. **34**).

Il existe des mires à graduation renversée pour les optiques ne redressant pas l'image (anciens modèles).

Le réticule d'un niveau est généralement constitué de quatre fils :

- le fil **stadimétrique supérieur** (s´), qui donne une lecture m_1 sur la mire ;
- le fil **stadimétrique inférieur** (s), qui donne la lecture m_2 sur la mire ;
- le fil **niveleur** (n), qui donne la lecture m sur la mire ;
- le fil vertical (v), qui permet le pointé de la mire ou d'un objet.

La lecture sur chaque fil est estimée visuellement au millimètre près (6,64 dm sur la figure 34 ., fil niveleur). Les fils stadimétriques permettent d'obtenir une valeur approchée de la portée . Pour chaque lecture, il est judicieux de lire les trois fils horizontaux de manière à éviter les fautes de lecture: on vérifie en effet, directement sur le terrain,que :

$m = \frac{m_1 + m_2}{2}$. Par exemple, figure 5.8. : 6,64 dm ≈ (5,69 + 7,60)/2.

On peut estimer l'incertitude d'une lecture par interpolation sur une mire centimétrique à $4/G$ cgon, G étant le grossissement de la lunette. Si l'on désire une incertitude de lecture de 1 mm avec une lunette de grossissement $G = 24\times$, **la portée maximale de visée** devra être de :

$D\max = 1.10^{-3}/(4/24.10^{-2}.\pi/200) = 38$ m.

Pour une lecture sur mire Invar, l'incertitude sur le pointé est de l'ordre de $1/G$ à $2/G$ cgon. Ce qui donne pour un niveau de précision $G = 40$ et pour obtenir une incertitude de l'ordre du dixième de millimètre :

$D\max = 0,1.10^{-3}/(2/40.10^{-2}.\pi/200) = 46$ m.

La portée maximale usuellement retenue est de l'ordre de 30 m du niveau à la mire en nivellement de précision.

c) Estimation de la portée par stadimétrie

La portée, c'est-à-dire la distance horizontale entre le point de station et le point visé, est utile dans les calculs de cheminement . Disposer d'un ordre de grandeur de sa valeur est nécessaire, par exemple, pour vérifier l'égalité des portées. C'est le rôle des fils stadimétriques qui, par lecture de la valeur $L = m_1 - m_2$ interceptée sur la mire, permettent de calculer la distance horizontale Dh_{SP} à ± 14 cm près (fig. 35).

Formule de stadim'trie

Nous allons établir la **formule de stadimétrie** ; pour cela, nous raisonnons à partir du schéma simplifié de la figure 36 a. où l'image de l'objet vue par l'opérateur est renversée. Si l'on considère que la mire utilisée est renversée, on retrouve la situation classique : le fil stadimétrique supérieur (s') lit la valeur la plus grande m_1 et le fil (s) lit la valeur m_2. f étant la distance focale de l'objectif, on peut écrire :

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{m_1 + m_2}{2(Dh - E)} = \frac{s}{2f}$$

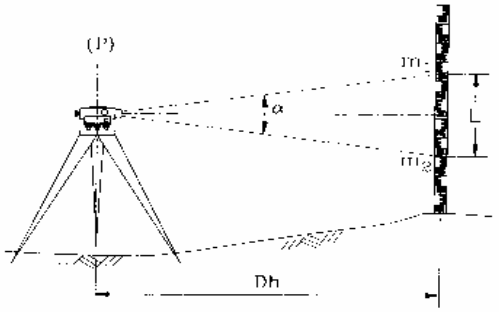


Fig. 35 : Stadimètre

Le rapport *s/f* est une constante de l'appareil. *E* est appelée constante (ou correction) d'anallatisme. Posons : $\frac{f}{s} = K = \frac{1}{2\tan(\alpha/2)}$

K est appelée **constante stadimétrique.** La valeur usuelle de *K* est $K = 100$ ($\alpha \approx 1/100$ rad soit 0,6366 gon ou encore 0,5 m à 100 m).

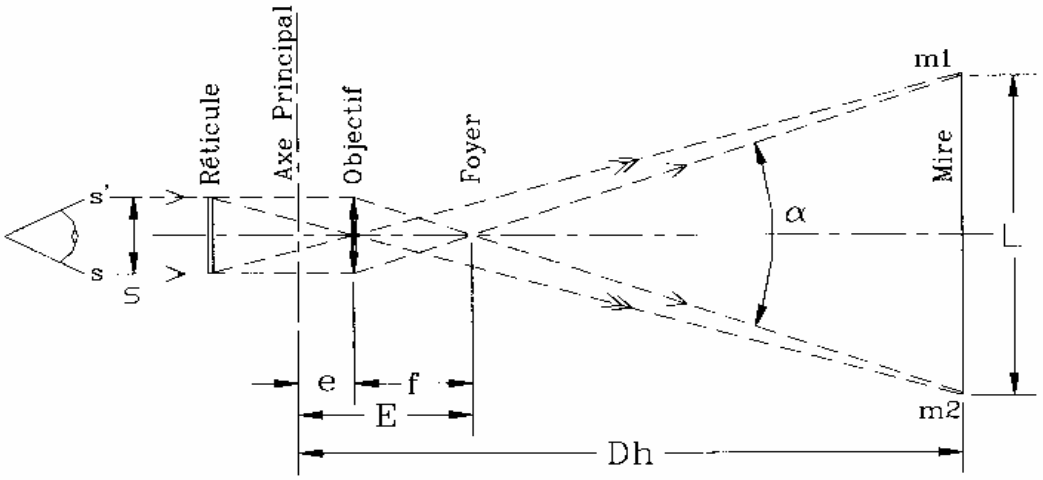


Fig. 36-a : Justification de la formule de stadimétrie

De la première équation, on déduit : $Dh = K.(m_1 - m_2) + E$

E est appelée **constante d'addition.**

Pour les appareils modernes à mise au point intérieure, la constante d'addition *E* est réduite par construction à une valeur négligeable vis-à-vis de la précision obtenue sur *Dh*. Pour les appareils à mise au point extérieure, *E* est de l'ordre de 30 cm.

Finalement, on obtient (avec $E = 0$) : $\boxed{Dh = K(m_1 - m_2) = KL}$

Précision de l'évaluation de Dh

Le manque de précision sur la connaissance de *Dh* vient essentiellement de la valeur de la constante stadimétrique qui multiplie les erreurs de lecture sur mire par 100 (voir le chapitre 4 sur les mesures de distances.

La précision sur la distance horizontale *Dh* est de l'ordre de ± 14 cm à 35 m avec un niveau classique (type NAK), ce qui est médiocre et ne fournit qu'un ordre d grandeur de *Dh* suffisant pour les calculs grossiers ou pour les compensations . On peut obtenir une valeur approchée de *Dh* à ± 1,4 cm près à 35 m si l'on utilise un niveau

de précision (type NA2 avec micromètre et mire Invar). Par exemple, si l'on reprend la figure **34** , $Dh = 100.(7{,}60 - 5{,}69) = 191$ dm donc $Dh = 19{,}1$ m ± 1,4 dm.

d) Contrôle et réglage du niveau

Réglage de la nivelle

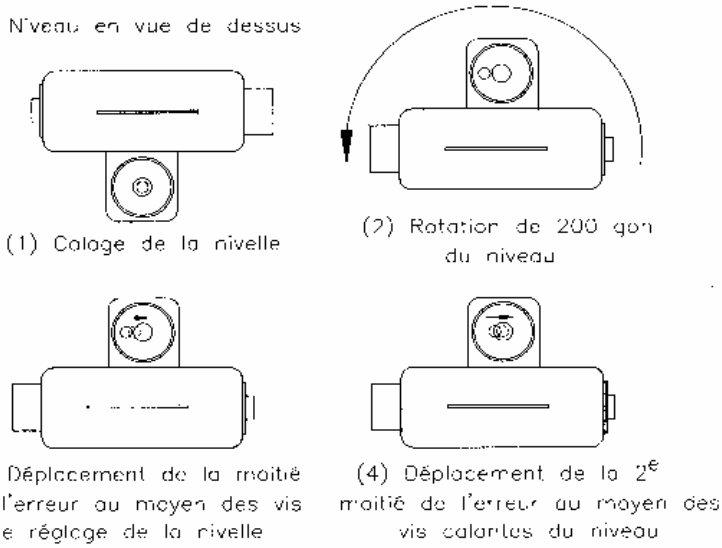

Niveau en vue de dessus
(1) Calage de la nivelle
(2) Rotation de 200 gon du niveau
(3) Déplacement de la moitié de l'erreur au moyen des vis de réglage de la nivelle
(4) Déplacement de la 2e moitié de l'erreur au moyen des vis calantes du niveau

Fig.36 -b. : Contrôle et réglage de la nivelle sphérique

La directrice de la nivelle torique ou le cercle de centrage de la nivelle sphérique doivent être inscrits dans un plan perpendiculaire à l'axe principal. Pour contrôler une nivelle, procédez ainsi :

- calez la nivelle dans une position bien définie de l'appareil (repérez-vous sur le cercle horizontal) ;
- faites pivoter le niveau de 200 gon et vérifiez que la nivelle reste dans ses repères ;
- si ce n'est pas le cas, ramenez la bulle vers la position centrale de la moitié de son décalage au moyen de ses vis de réglage, l'autre moitié étant rattrapée par les vis calantes du niveau. Recommencez la vérification jusqu'à obtenir un défaut négligeable

Réglage du réticule

Le fil horizontal du réticule doit être situé dans un plan perpendiculaire à l'axe principal.

Le contrôle et le réglage s'effectuent ainsi :

- choisissez un point bien défini coïncidant avec le fil horizontal du réticule ;

- faites pivoter la lunette avec le mouvement lent et vérifier que le réticule reste en contact avec le point choisi ;
- si ce n'est pas le cas, ramenez le réticule sur le point en agissant sur son dispositif de réglage.

Réglage de l'axe optique

L'axe de visée (O) doit être perpendiculaire à l'axe principal (P). L'axe de visée étant défini par le centre optique de l'appareil et la croisée des fils du réticule, on peut modifier l'inclinaison de l'axe (O) en agissant sur le réticule. Pour mettre en évidence un besoin de réglage, il faut procéder comme suit (voir fig. 37 et 38) :

- implantez deux points A et B distants d'environ 60m en terrain à peu près horizontal et régulier ;
- stationnez le niveau en C, milieu de AB et lire la dénivelée ΔH_{AB} ;
- stationnez en E, situé à 6 m de A à l'extérieur de AB, et lisez à nouveau ΔH_{AB} ;
- déterminez par calcul la valeur du défaut éventuel ε appelé défaut d'horizontalité de l'axe de visée (ou encore, de manière impropre, collimation verticale) ;
- si ce défaut est trop important, c'est-à-dire s'il provoque une erreur de plus de 2 mm à 30 m, réglez l'appareil. Ceci peut se faire en station en E, en ramenant la ligne de visée sur la lecture exacte calculée précédemment (agir pour cela sur les vis de réglage du réticule ; voir la documentation de l'appareil).

Explications et calculs

La dénivelée réelle entre A et B est $\Delta H_{AB} = ma - mb$. Si le niveau possède un défaut ε de perpendicularité entre (O) et (P), l'opérateur lit une dénivelée fausse $\Delta H'_{AB} = m'a - m'b$. Or on peut écrire :

$$\left.\begin{aligned} m'a &= ma + D_{AC} \cdot \tan\varepsilon \\ m'b &= mb + D_{BC} \cdot \tan\varepsilon \end{aligned}\right\} \Rightarrow m'a - m'b = ma - mb + (D_{AC} - D_{BC})\tan\varepsilon$$

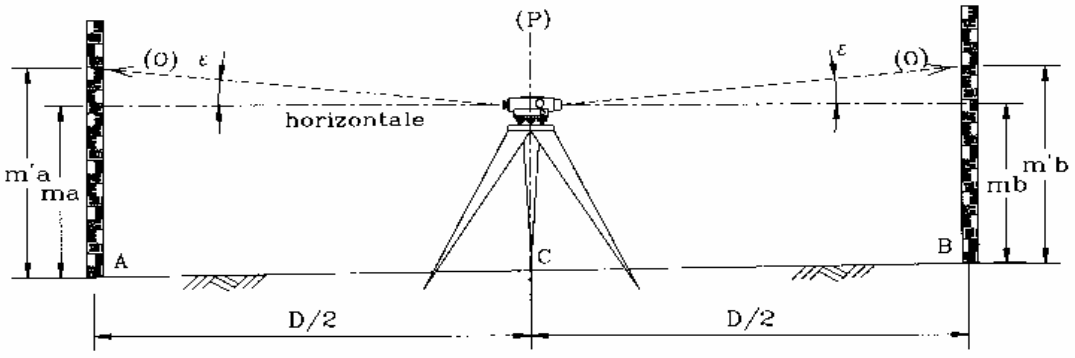


Fig. 37 : Station avec portées égales

Puisque l'opérateur stationne au milieu de AB, $D_{AC} = D_{BC}$, on obtient $m'a - m'b = ma - mb = \Delta H_{AB}$. La dénivelée mesurée est égale à la dénivelée réelle car l'effet de l'erreur d'inclinaison ε s'annule du fait de **l'égalité des portées** CA et CB. Ceci signifie qu'en pratiquant l'égalité des portées, on peut mesurer juste avec un appareil faussé, à condition que son défaut reste faible. On peut admettre un écart angulaire provoquant sur la mire une erreur de l'ordre du double de l'appréciation de la lecture, qui est de 1 mm à 30 m. Donc ε_{maxi} est tel que : $\tan\varepsilon_{maxi} = 2.10^{-3}/30$, c'est-à-dire $\varepsilon_{maxi} = 4$ mgon.

La station précédente a permis de mesurer la dénivelée « exacte » ΔH_{AB}.

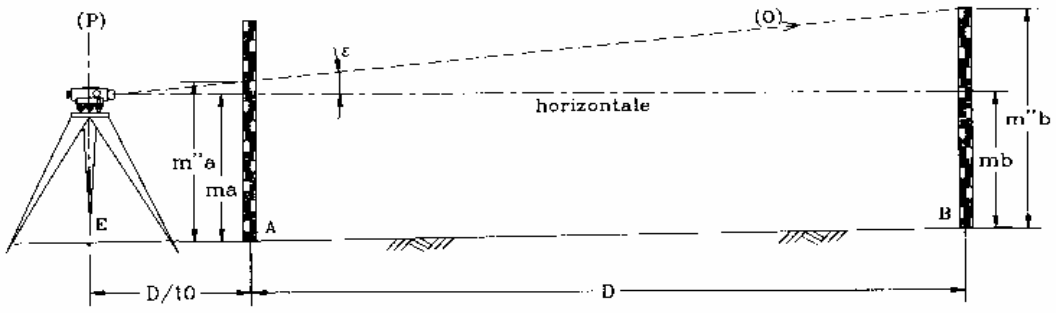


Fig.38 : Station décentrée

Sur la figure 38, les lectures $m''a$ et $m''b$ donnent cette fois une dénivelée erronée $\Delta H''_{AB}$. C'est le calcul de cette dénivelée fausse qui permet d'estimer le défaut d'inclinaison de l'axe optique ε.

On peut écrire :

$$\left.\begin{aligned} m''a &= ma + D_{AE} \cdot \tan\varepsilon \\ m''b &= mb + D_{BE} \cdot \tan\varepsilon \end{aligned}\right\} \Rightarrow m''a - m''b = ma - mb + (D_{AE} - D_{BE})\tan\varepsilon$$

donc : $$\tan\varepsilon = \frac{(m''a - m''b) - (ma - mb)}{(D_{AE} - D_{BE})}$$

Donc, finalement : $$\boxed{\tan\varepsilon = \frac{\Delta H''_{AB} - \Delta H_{AB}}{D_{AE} - D_{BE}}}$$

Il reste à calculer ε et à le comparer à $\varepsilon_{maxi} \approx 4$ mgon. Suivant le signe de ε, on pourra même conclure sur le sens du défaut d'inclinaison, à savoir si le niveau vise trop haut ou trop bas.

Remarque

La manipulation doit être effectuée avec soin car la valeur calculée de ε englobe les erreurs de lecture, de mise en station, de tenue de la mire, etc. Le plus efficace est de faire plusieurs stations (trois ou quatre) sur la droite AB. Il est ainsi possible de tracer une courbe donnant l'évolution de l'erreur commise sur la dénivelée en fonction de la portée et conclure sur la présence ou non d'une erreur d'inclinaison de l'axe optique (voir l'exemple ci-dessous).

Aplication

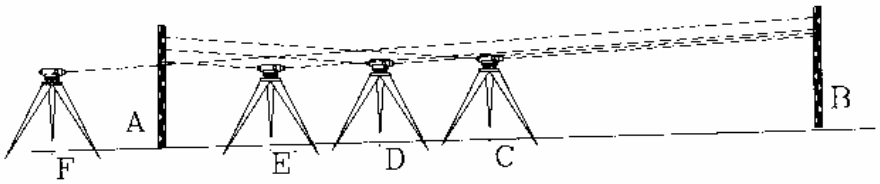


Fig. 39 : Mise en évidence de l'erreur d'inclinaison de l'axe optique d'un niveau

Pour déterminer le défaut d'inclinaison de l'axe optique d'un niveau, un opérateur stationne à mi-distance entre deux points A et B distants de 60 m. Il effectue trois autres stations : D à 20 m de A et 40 m de B, E à 10 m de A et 50 m de B et F à 10 m de A et 70 m de B (voir fig. 39). À partir des lectures données du tableau ci-contre, déterminez s'il y a un défaut d'inclinaison de l'axe optique dans l'appareil utilisé. Dans l'affirmative, donnez la valeur angulaire de ce défaut et son signe.

Station	*ma* (dm)	*mb* (dm)
C	11,32	13,15
D	10,16	12,03
E	10,87	12,78
F	12,02	13,99

Réponse

Station	Dénivelée $\Delta H''_{AB}$ (dm)	Différence de portée ΔD (m)
C	11,32 – 13,15 = –1,83	0
D	10,16 – 12,03 = –1,87	–20
E	10,87 – 12,77 = –1,90	–40
F	12,02 – 13,99 = –1,97	–60

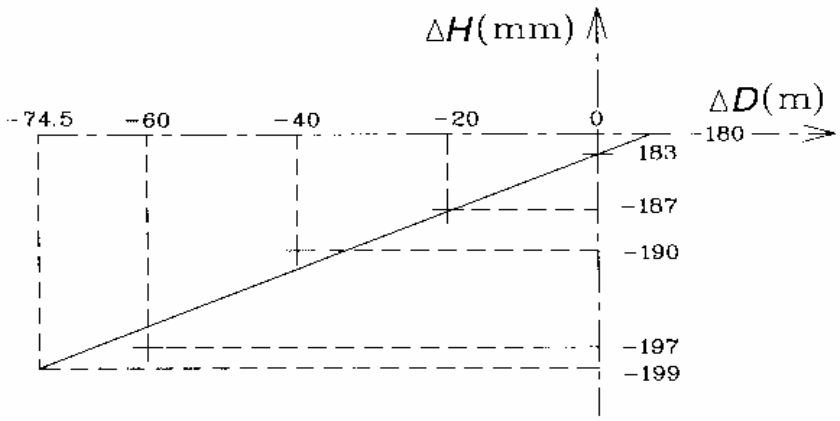


Fig.40 : Détermination graphique de l'angle ε

La courbe ci-dessus (fig.40) donne l'évolution de la dénivelée mesurée (notée ΔH) en fonction de la différence de portée ΔD : les ordonnées ont été multipliées par 2 000 par rapport aux abscisses, de manière à accentuer le défaut.

Cette courbe devrait être une droite de pente tanε puisque d'après les relations vues précédemment : $\Delta H_{AB\,\text{mesurée}} = \Delta D \,.\, \tan\varepsilon + \Delta H_{AB\,\text{exacte}}$.

Cette équation est de la forme : $y = ax + b$ avec $a = \tan\varepsilon$ et $b = \Delta H_{AB\,\text{exacte}}$.

On constate que les points se répartissent près d'une droite : on peut donc considérer qu'il y a bien inclinaison de l'axe optique. Si ce n'était pas le cas, les points seraient soit répartis de manière aléatoire (fautes de manipulation), soit sur une droite sensiblement parallèle à l'axe des abscisses (ni fautes ni d'inclinaison).

La droite est tracée par interpolation à vue, et donne à ses extrémités les valeurs (–74,5 m et –199mm) qui permettent de calculer une pente moyenne $a = \tan\varepsilon = -(199 - 183).10^{-3}/-74{,}5$; donc $\varepsilon = 13$ mgon, soit une erreur de 6 mm à 30 m. L'inclinaison ε existe, elle est positive : donc l'appareil vise trop haut. Par conséquent, il faudra remonter le fil horizontal du réticule de manière à abaisser la ligne de visée de cet appareil.

Pour déterminer numériquement la pente de la droite qui passe au plus près des points du graphique de la figure 40 , on peut utiliser la **formule des moindres carrés** qui calcule la **pente *a* et l'abscisse à l'origine *b*** de la droite passant au plus près de tous les points d'un essai (minimisation de la somme des carrés des distances de chaque point à la droite cherchée). Les n points d'un essai étant connus en coordonnées (x_i, y_i), a et b sont données par les formules suivantes :

$$a = \frac{\sum x_i \sum y_i - n\sum x_i y_i}{\left(\sum x_i\right)^2 - n\sum (x_i)^2} \quad \text{et} \quad b = \frac{\sum x_i \sum x_i y_i - \sum (x_i^2) \cdot \sum y_i}{\left(\sum x_i\right)^2 - n\sum (x_i)^2}$$

La « droite solution » est alors d'équation : $y = ax + b$.

Réglage du niveau

Cette inclinaison entraîne une erreur de + 15 mm sur une lecture à 70 m. Donc, en statio au point F, on déplace le fil horizontal du réticule au moyen de ses vis de réglage jusqu' lire 13,99 – 0,15 = 13,84 dm sur la mire en B.

Etalonnage de la mire et réglage de la nivelle sphérique

Les mires de nivellement ordinaire ne sont pratiquement jamais étalonnées. Une vérification s'impose au bout d'un certain temps d'utilisation. Le réglage de la nivelle sphérique peut être réalisé simplement en utilisant un fil à plomb. Il suffit de bloquer la mire en position verticale et de maintenir la partie supérieure fixe pendant que l'on déplace la partie inférieure sur le sol jusqu'à obtenir une verticalité parfaite au fil à plomb.

On règle ensuite la nivelle sphérique au moyen de ses vis de réglage.

On peut aussi procéder par retournement de la mire (rotation de 200 gon): la mire est positionnée verticalement au moyen de la bulle. On repère la position de la mire par un trait au sol puis on effectue un demi-tour de la mire en la replaçant sur le même repère. Si la bulle n'est plus centrée, elle est ramenée vers le centre de la moitié du décalage.

Nous allons mettre en évidence l'incidence de la tenue de la mire sur la précision de mesure :

Calculez l'erreur maximale sur la dénivelée, en considérant que la mire a été calée avec une bulle fausse ou très mal centrée.

Le défaut de centrage de la bulle est de 10 mm au moment de la lecture. La sensibilité de la nivelle est de 8″/2mm.

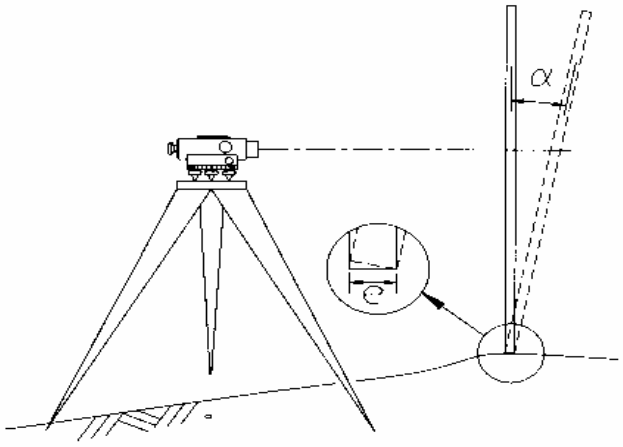


Fig. 41 : Tenue de la mire

Un défaut de centrage de 10 mm entraîne un défaut angulaire de $\alpha = (8/2/60.200/180).10 = 0{,}74$ gon. Pour une lecture tout en haut de la mire ($m = 4$ mètres), la valeur de la lecture effectuée est trop grande d'une valeur ε qui est telle que $\varepsilon = m - m\cos\alpha = 4.(1 - \cos 0{,}74) \approx 0{,}3$ mm ce qui est négligeable en nivellement ordinaire d'autant qu'on vise rarement aussi haut sur la mire.

L'effet de soulèvement de la mire dû à son épaisseur (fig. 41) tend à **diminuer** l'erreur ε si la mire bascule vers l'arrière $\varepsilon \approx m.(1 - \cos\alpha) - e.\tan\alpha$. En pratique, ce phénomène est évité en choisissant de poser la mire sur des points ou des parties concaves du sol et non sur des surfaces planes (voir aussi « crapauds »).

En conclusion, une mauvaise tenue de la mire n'a pas une grande influence sur la précision **en nivellement ordinaire**.

Remarque

Une mire sans nivelle sphérique peut tout de même être utilisée en balançant la mire d'avant en arrière ; l'opérateur lit alors la plus petite valeur interceptée sur la graduation.

3. PRECISION ET TOLERANCE DES LECTURES

Sont énumérées ci-après les différentes fautes et sources d'erreur possibles.

a) Fautes

On distingue les fautes de :

- **calage** : oubli de caler la bulle, compensateur bloqué ;
- **lecture** : confusion du trait niveleur avec un trait stadimétrique ; confusion de graduation ou d'unité ;
- **transcription sur carnet** : mauvaise retranscription de la valeur lue.

b) Erreurs systématiques

Les erreurs systématiques sont :

- l'erreur d'étalonnage de la mire ;
- le défaut de verticalité de la mire: bulle déréglée ;
- l'erreur d'inclinaison de l'axe optique: axe optique non perpendiculaire à l'axe principal ;
- le défaut de fonctionnement du compensateur.

c) Erreurs accidentelles

Les erreurs accidentellese sont :

- l'erreur de **parallaxe** qui est une mauvaise mise au point de la lunette ;
- un mauvais **calage** de la bulle ;
- l'**erreur de lecture sur la mire** due à l'estimation du millimètre ;
- un **mauvais choix d'un point intermédiaire** : point non stable ;
- le **flamboiement de l'air** : il faut éviter les visées en bas de mire près du sol lorsqu'il fait chaud ;
- l'**erreur de pointé de l'objet** : elle est due à la forme du réticule (un seul fil pour un pointé ordinaire ou par bissection, deux fils pour un pointé par encadrement. Pour une lunette de grossissement G, on peut estimer cette erreur comme suit :

- pointé ordinaire : 100 dmgon/G, ce qui donne pour un NA 20 (G = 20) 5 dmgon, soit 0,3 mm à 35 m ;
- pointé par encadrement ou bissection : ≈ 50 dmgon/G (2,5 dmgon), soit 0,15 mm à 35 m.

d) Ecarets types

Ils varient suivant les niveaux et les mires utilisées (voir norme DIN 18723), le soin apporté au mesurage, la stabilité des points de mire, la force du vent, etc. En nivellement ordinaire, on cumule les erreurs de lecture sur mire listées ci-après :

- une erreur due au **calage de l'axe principal** (sur un niveau non automatique) de ± 0,5 mm à 30 m. Cette valeur est pessimiste puisqu'avec un niveau automatique du type NA20, la précision du calage est de ± 0,8˝ (soit ± 2,5 dmgon), ce qui donne une erreur sur la mire de ± 0,1 mm à 30 m ;
- une erreur due à la tenue de la mire (plus ou moins verticale) et à l'appréciation de la lecture de ± 1mm à 30 m ;

une erreur sur le support de la mire (sol, crapauds éventuels, etc.) de ± 0,5 mm.

Soit un écart type de $\sqrt{0,5^2 + 1^2 + 0,5^2} = \pm 1,22$ mm pour une visée.

Pour une dénivelée (deux visées), cela donne : ± 1,22 mm . $\sqrt{2}$ = ± 1,73 mm.

Sur un parcours de N dénivelées, l'écart type est donc de : $\boxed{\sigma = \pm 1,7\sqrt{N}}$

Donc la tolérance sur la fermeture du parcours est de $2,7\sigma$ soit : $\boxed{T_{AH} = \pm 4,6\sqrt{N}}$

Si l'on considère 16 dénivelées au kilomètre, on obtient : $\sigma = \pm$ 7 mm pour 1 km.

Ces valeurs sont des valeurs usuelles utilisables pour des travaux courants.

e) Tolérances réglementaires

L'arrêté du 21 janvier 1980 publié au Journal Officiel du 19 mars 1980 précise les tolérances applicables au nivellement (tableau ci-contre).

Tolérances T_{AH} en mm	$n \leq 16$	$n \geq 16$
Ordinaire	$4\sqrt{36L + L^2}$	$\sqrt{36N + \frac{N^2}{16}}$
Précision	$4\sqrt{9L + L^2}$	$\sqrt{9N + \frac{N^2}{16}}$
Haute précision	$8\sqrt{L}$	$2\sqrt{N}$

L est la longueur totale du parcours en kilomètre. N est le nombre de dénivelées. n est le nombre de dénivelées au kilomètre ($n = N / L_{km}$). La valeur limite n = 16 correspond à un cheminement dont la distance moyenne entre points est de 62,50 m soit une portée moyenne d'environ 30 m. Cette valeur est la limite supérieure autorisée en nivellement de haute précision.

Ces tolérances sont issues du dépouillement de mesures réelles. Elles tiennent implicitement compte de la nature du terrain puisque le nombre de stations augmente en terrain accidenté. Ces tolérances peuvent bien sûr être remises en cause par le cahier des charges d'un chantier particulier.

4. CARACTERISTIQUES DES NIVEAUX

On peut classer les niveaux en cinq grandes catégories de précision croissante[1], par exemple :

- les niveaux de chantier utilisés pour le nivellement courant : NA20, NA820 ;
- les niveaux d'ingénieur utilisés en nivellement ordinaire : NA24, NA824 ;
- les niveaux de précision : NA28 ou NA2002 (numérique) ;
- les niveaux de haute précision : NA2 et NA3003 avec mire Invar ;
- les niveaux de très haute précision : N3 avec mire Invar.

Le tableau ci-dessous fournit un comparatif des principales caractéristiques des niveaux données par le constructeur.

Gamme	Automatiques				À nivelle
Modèles :	NA 20 NA820	NA 24 NA824	NA 28 NA828	NA 2 NAK2	N 3
Écart type (mm) pour 1 km de cheminement double : avec un micromètre :	± 2,5	± 2	± 1,5 ± 0,7	± 0,7 + 0,3	± 0,2
Grossissement G	20	24	28	32 - 40	11 à 47
Champ à 100 m (m)	4,2	3,5	3	2,4	1,8
Constante stadimétrique	100	100	100	100	100
Constante d'addition ou d'anallatisme	0 cm	0 cm	0 cm	0 cm	- 20 cm
Visée minimale (m)	0,5	0,5	0,7	1,6	0,45
Lunette remplie de gaz	non	oui	oui	non	non
Sensibilité nivelle sphérique pour 2 mm	15cgon	15cgon	15cgon	15cgon	15cgon
Sensibilité nivelle torique pour 2 mm	-	-	-	-	3 mgon *
Plage du compensateur en cgon	± 55	± 55	± 55	± 55	-
Précision calage du compens. (mgon)	± 0,2	± 0,2	± 0,15	± 0,09	± 0,06
Division du cercle (gon)	1	1	1	0,01	-

* Nivelle parabolique pour le N3.

L'écarte type calculé selon la norme DIN 18723, correspond à 1 km de cheminement double. La **constante stadimétrique** et la **constante d'addition** sont définies au paragraphe Estimation de la portée par stadimétrie. La **sensibilité de la nivelle** est utile surtout pour les instruments non automatiques à nivelle torique (N3 à nivelle torique « coupée),ces appareils nécessitant un réglage de la nivelle torique avant chaque lecture. Pour les appareils automatiques, l'indication important est la **précision de calage** du compensateur (la nivelle sphérique sert de réglage drossier).

Certains modèles proposent en option un **cercle horizontal gradué**(du gon au cgon) permettant de faire des levers tachéométriques(mesures angulaires associées à des mesures rapides de distance) ou des implantations en terrain régulair.

Niveaux de chantier *N20/N24* Nedo

niveaux automatiques

Les faits

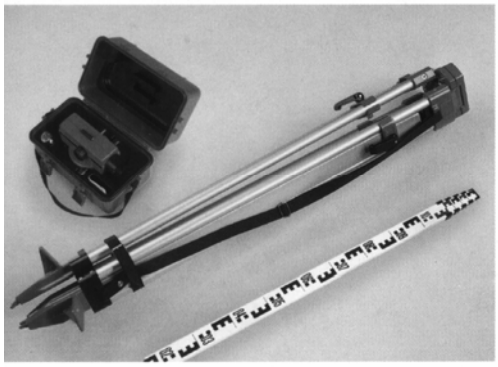
- ✔ Optique de haute qualité
- ✔ Amortissement efficace
- ✔ Robuste
- ✔ Collimateur optique
- ✔ Prisme de lecture pour nivelles sphériques

CONTENU DU KIT COMPLET

Kit niveau de chantier *N20*	**Réf. 460 009**
Constitué de:	
Niveau de chantier *N20*	Réf. 460 766-613
Trépied de nivelage	Réf. 200 200-613
Mire télescopique, 4 m	Réf. 344 115-101
Kit niveau de chantier *N24*	**Réf. 460 005**
Constitué de:	
Niveau de chantier *N24*	Réf. 460 741-613
Trépied de nivelage	Réf. 200 200-613
Mire télescopique, 4 m	Réf. 344 115-101
Etui de rangement pour mire télescopique	Réf. 355 111-613
Nivelle de mise à niveau enclipsable pour mire alu	Réf. 350 215

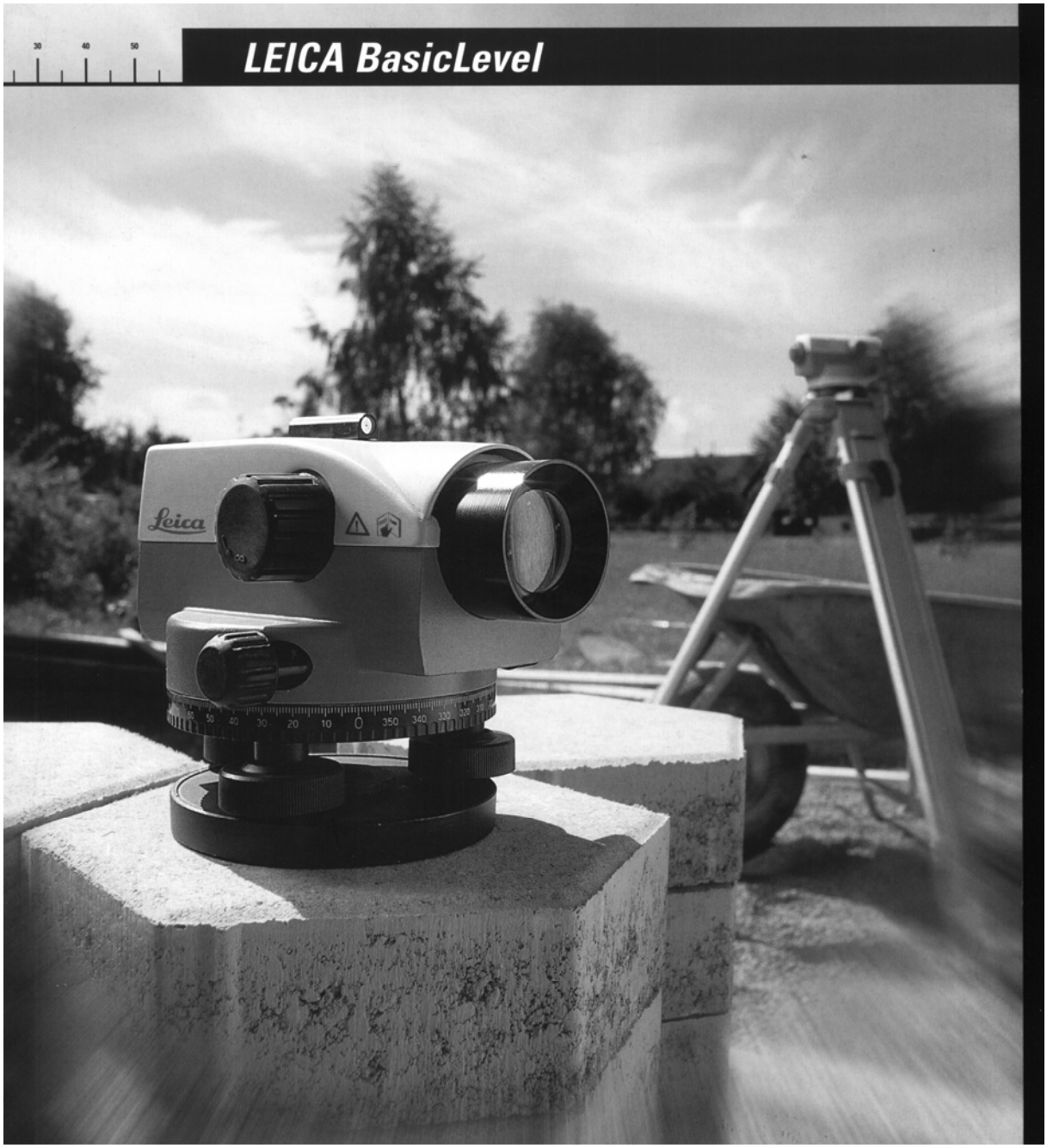
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

	N20	*N24*
Optique	droite	droite
Grossissement	20 fois	24 fois
Ouverture non masquée de l'objectif	30 mm	36 mm
Portée minimale	0,4 m	0,7 m
Facteur de multiplication	100	100
Facteur additif	0	0
Plage de travail du compensateur	± 15′	± 14′
Précision de réglage	± 0,5″	± 0,5″
Sensibilité des nivelles	8′	8′
Cercle gradué	400 gon	400 gon
Ecart type pour 1 km de double nivellement	± 2,5 mm	± 2,5 mm
Poids	1,9 kg	2,0 kg
Filet de centrage du trépied	5/8″	5/8″
Référence appareil isolé Niveau de chantier	460 766-613	460 741-613



Nedo®

Pour des mesures d'exception


LEICA BasicLevel
Leica

LEICA BasicLevel – les niveaux en toute simplicité

Le niveau d'accès de Leica Geosystems

Vous cherchez un niveau de chantier solide et fiable, à un prix raisonnable; le BasicLevel est fait pour vous. Le BasicLevel est un niveau qui répond aux critères de qualité de Leica Geosystems et qui s'adaptera à votre budget.

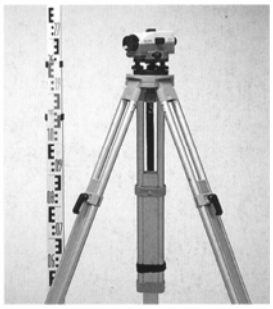
Le bon accessoire

Le nouveau BasicLevel est offert sous la forme d'un équipement complet. Avec son trépied robuste et sa mire télescopique très précise, Leica Geosystems vous propose une solution optimale pour tous vos travaux de mesure sur grands et petits chantiers.

Un niveau pour de nombreuses applications

Que vous souhaitiez creuser un petit étang, construire une terrasse ou que vous travailliez sur un chantier plus important, le BasicLevel est l'outil qu'il vous faut.

Le BasicLevel
- est abordable pour tous
- garantit des mesures précises grâce à une bonne ajustabilité de la ligne visée et un compensateur fiable
- permet des mesures d'angles horizontaux grâce au cercle divisé en degrés
- résiste à la saleté et à l'eau grâce à sa construction renforcée et à sa fabrication très précise
- peut être rapidement installé et s'adapte à tous les types de trépieds
- facilite la visée grâce aux commandes vis sans fin horizontales, et au viseur
- est livré avec des accessoires standard comme le fil à plomb, le manuel d'utilisation et la housse de protection
- est garanti un an



TQM
ISO 9001 / ISO 14001

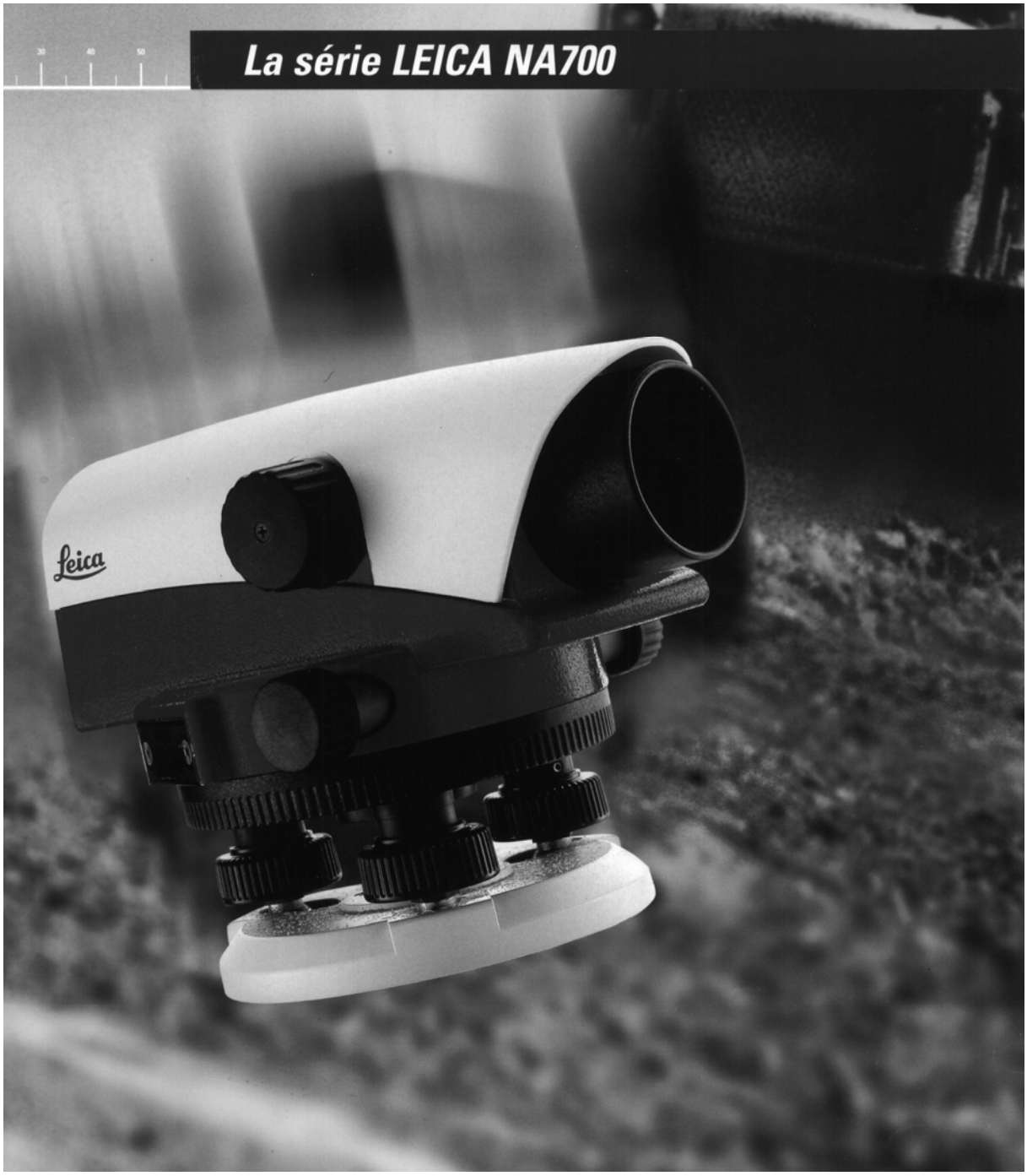
Total Quality Management – Notre engagement à vous satisfaire totalement

De plus amples informations sur le programme TQM sont disponibles auprès de votre représentant Leica Geosystems.

Caractéristiques techniques

Précision:	
Ecart type pour un nivellement double sur 1 km	< 3 mm
Lunette:	
Image	verticale
Grossissement	20 x
Diamètre du champ visuel pour 100 m	> 2,3 m
Visée minimum	< 1 m
Constante de multiplication pour la mesure de distance	100
Constante d'addition pour la mesure de distance	0
Compensateur:	
Plage d'inclinaison	±10 minutes
précision de calage (écart type)	< 1"
Sensibilité de la nivelle sphérique	8'/2 mm
Cercle horizontal:	
Division	360 degrés
Intervalle de division	1 degré
Température de fonctionnement	-20° à +45°C

Leica


La série LEICA NA700
Leica

La série LEICA NA700
Dur à la tâche, net et précis

Caractéristiques techniques	NA720	NA724	NA728	NA730
Grossissement	20 x	24 x	28 x	30 x
Image	droite	droite	droite	droite
Lunette à air comprimé	oui	oui	oui	oui
Cercle horizontal	360 degrés/400 gon sélectionnable	360 degrés/400 gon sélectionnable	360 degrés/400 gon sélectionnable	360 degrés/400 gon sélectionnable
Mesure de distance				
- Facteur de multiplication	100	100	100	100
- Constante d'addition	0	0	0	0
Nivelle sphérique	10' / 2 mm	10' / 2 mm	10' / 2 mm	10' / 2 mm
Mise au point	rapide	rapide	rapide/fine	rapide/fine
Calage fin	deux cotés, vis sans fin	deux cotés, vis sans fin	deux cotés, vis sans fin	deux cotés, vis sans fin
Précisions				
Pour un nivellement double 1 km	2,5 mm	2 mm	1,5 mm	1,2 mm
Mesure simple avec mire à 30 m	1,5 mm	1,2 mm	1 mm	0,8 mm
Compensateur				
Precision	< 0.5"	< 0,5"	< 0.3"	< 0.3"
Plage de travail	± 15'	± 15'	± 15'	± 15'
Environnements				
Normes	ISO 9022-33-5	ISO 9022-33-5	ISO 9022-33-5	ISO 9022-33-5
Eau/Poussières	IP57 Immersion tot.	IP57 Immersion tot.	IP57 Immersion tot.	IP57 Immersion tot.
Plages de températures				
- Opération	-20° à +50 °C	-20° à +50 °C	-20° à +50 °C	-20° à +50 °C
- Température de stockage	-40° à +70 °C	-40° à +70 °C	-40° à +70 °C	-40° à +70 °C
Dimensions, poids				
Dimensions instrument	19x12x12 cm	19x12x12 cm	21x12x12 cm	21x12x12 cm
Poids instrument	1,6 kg	1,6 kg	1,7 kg	1,7 kg

Les accessoires

Simplifient votre travail, augmentent votre précision. Les accessoires originaux Leica Geosystems transforment votre niveau LEICA NA700 en instrument complet.

TQM
ISO 9001 / ISO 14001

Total Quality Management, notre engagement à vous satisfaire totalement.

Pour de plus amples informations sur notre programme TQM, veuillez consulter votre représentant local Leica Geosystems.

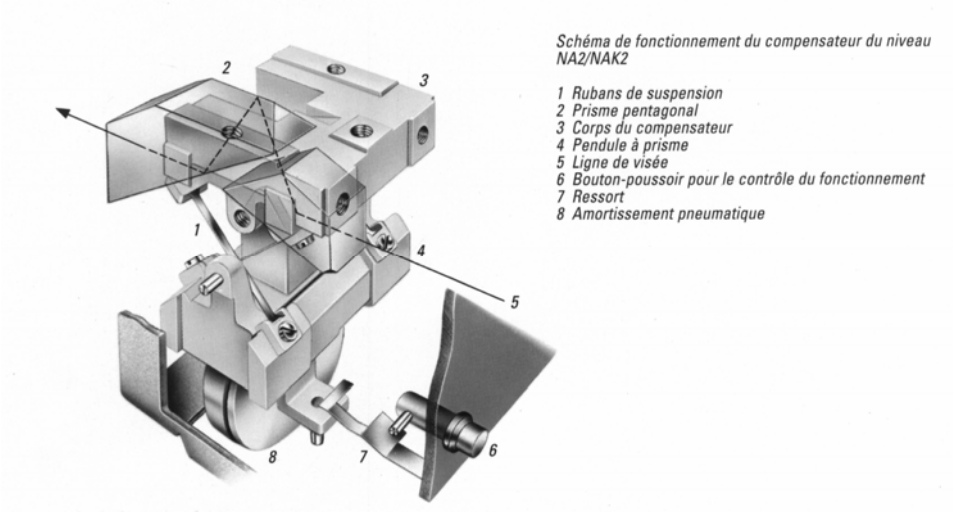


Schéma de fonctionnement du compensateur du niveau NA2/NAK2

1 Rubans de suspension
2 Prisme pentagonal
3 Corps du compensateur
4 Pendule à prisme
5 Ligne de visée
6 Bouton-poussoir pour le contrôle du fonctionnement
7 Ressort
8 Amortissement pneumatique

5. CHEMINEMENTS SIMPLES

Lorsque les points A et B sont situés de sorte qu'une seule station du niveau ne suffit pas à déterminer leur dénivelée (éloignement, masque, dénivelée trop importante, etc.), il faut décomposer la dénivelée totale en dénivelées élémentaires à l'aide de points intermédiaires (I1, I2, ... , voir fig. 42). L'ensemble de ces décompositions est appelé **nivellement par cheminement**.

Un cheminement encadré part d'un « point origine » connu en altitude, passe par un certain nombre de points intermédiaires et se referme sur un « point extrémité » différent du point d'origine et également connu en altitude. Le cheminement de la figure 16 est encadré entre A et B.

Lorsque l'on cherche à déterminer l'altitude d'un point extrémité B à partir de celle connue d'un repère A, on effectue généralement un **cheminement aller-retour** de A vers A en passant par B. Ceci permet de calculer l'altitude de B et de vérifier la validité des mesures en retrouvant l'altitude de A.

Lorsqu'un cheminement constitue une boucle retournant à son point de départ A, on l'appelle **cheminement fermé**. Il est très employé pour les raisons suivantes :

- il permet la détermination des altitudes même quand on ne connaît qu'un seul repère ;
- il est possible de calculer un tel cheminement en affectant une altitude arbitraire à un point de départ fixe et durable ; une simple translation permettra de passer des altitudes de ce système local aux altitudes vraies ;
- il permet un contrôle de fermeture qui est indépendant de la précision de connaissance de l'altitude du point de référence.

a) Pratique du nivellement par cheminement

Un nivellement par cheminement s'effectue par les opérations suivantes :

- la mire étant sur le point origine A, l'opérateur stationne le niveau en S1 dont détermine l'éloignement en comptant le nombre de pas séparant A de S1, de manièr à ne pas dépasser la portée maximale de 60 m. L'opérateur fait une **lecture arrièr** c'est-à-dire dans le sens de parcours choisi, sur le point A, notée $m_{ar\,A}$;
- le porte-mire se déplace pour venir sur le premier point intermédiaire I1 le plus stab possible (pierre, socle métallique appelé « crapaud », piquet etc.) et dont il détermi l'éloignement en comptant lui-même le nombre de pas séparant A de S1 afin pouvoir reproduire ce nombre de pas de S1 à I1 ;
- toujours stationné en S1, l'opérateur lit sur la mire la **lecture avant** sur I1 notée $m_{av\,I1}$;

  il est alors possible de calculer la dénivelée de A à I1 de la manière suivante :

  $\Delta H_1 = m_{ar\,A} - m_{av\,I1}$ = lecture arrière sur A – lecture avant sur I1.
- L'opérateur doit lire les fils stadimétriques et vérifier que $m \approx (m_1 + m_2)/2$;

l'opérateur se déplace pour choisir une station S2 et ainsi de suite :

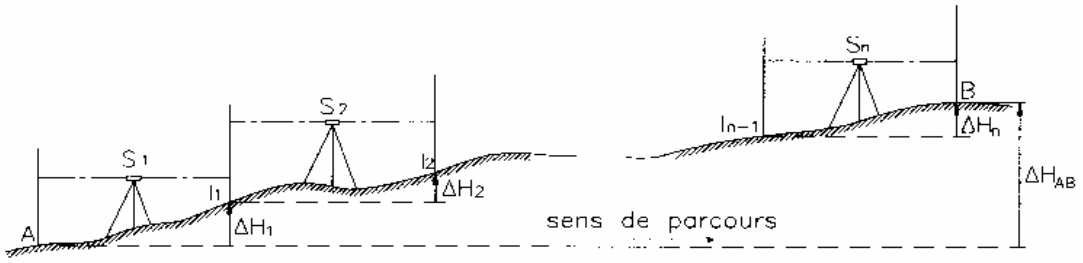


Fig. 42 : Cheminement de nivellement

- les dénivelées partielles sont les suivantes :

$m_{ar\,A} - m_{av\,I1} = \Delta H_1$	dénivelée de A vers I1
$m_{ar\,I1} - m_{av\,I2} = \Delta H_2$	dénivelée de I1 vers I2
...	...
$m_{ar\,I(i-1)} - m_{av\,I(i)} = \Delta H_i$	dénivelée de I(i–1) vers I(i)
...	...
$m_{ar\,I(n-1)} - m_{av\,B} = \Delta H_n$	dénivelée de I(n–1) vers B

$$\sum_{i=1}^{i=n} m_{ar} - \sum_{i=1}^{i=n} m_{av} = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta H_i = \Delta H_{AB}$$

La dénivelée totale ΔH_{AB} de A vers B est égale à la somme des lectures arrière diminué de la somme des lectures avant.

Remarque

| Si le cheminement est fermé, la dénivelée totale doit être égale à zéro.

b) Fermeture du cheminement

Connaissant l'altitude de A, on peut calculer à nouveau à partir des mesures de terrain, l'altitude de B : on appelle cette valeur de H_B **la valeur observée**, notée $H_{B\,obs}$.

Elle est définie par : $$H_{B\,obs} = H_A + \sum_{i=1}^{n} \Delta H_i$$

Si les mesures étaient exemptes d'erreurs, on retrouverait exactement l'altitude connue H_B. En réalité, il existe un écart appelé **erreur de fermeture du cheminement** (ou plus simplement **fermeture**) qui est soumis à tolérance. Cette fermeture notée f_H vaut :

$$f_H = H_{B\,obs} - H_B$$

Un moyen mnémotechnique permettant de se souvenir du sens de cette soustraction est de se rappeler que le signe de l'erreur de fermeture f_H doit être positif si l'altitude observée est supérieure à l'altitude réelle c'est-à-dire : $f_H > 0$ implique que $H_{B\,obs} > H_B$.

Si l'on appelle $T_{\Delta H}$ **la tolérance** réglementaire de fermeture du cheminement, on doit donc vérifier : $|f_H| < T_{\Delta H}$. Si ce n'est pas le cas, les mesures doivent être refaites.

Les tolérances réglementaires sont données par l'arrêté du 21 janvier 1980.

c) Copensation du cheminement

La compensation est l'opération qui consiste à répartir la fermeture sur toutes les mesures.

La compensation, notée C_H, est donc l'opposée de la fermeture, c'est-à-dire : $C_H = -f_H$

Cet ajustement consiste à modifier les dénivelées partielles en répartissant la compensation totale C_H sur chacune d'elle. Cette répartition peut être effectuée de plusieurs manières :

1- proportionnellement au nombre N de dénivelées : on choisira ce type de compensation dans le cas où la fermeture est très faible c'est-à-dire inférieure à l'écart type $\sigma_H = T_H / 2{,}7$.

Donc la compensation sur chaque dénivelée est : $$C_{Hi} = \frac{C_H}{N}$$

Dans le cas où la fermeture est comprise entre écart type et tolérance, on peut choisir entre les deux méthodes de répartition suivantes :

2- proportionnellement à la portée : on considère que plus la portée est importante et plus la dénivelée peut être entachée d'erreur. Ceci oblige à connaître un ordre de grandeur de la portée, qui est obtenu par stadimétrie.

La compensation sur chaque dénivelée est alors : $$C_{Hi} = C_H \frac{L_i}{\sum L_i}$$

3- proportionnellement à la valeur absolue de la dénivelée : la compensation à appliquer à chaque dénivelée partielle du cheminement vaut donc :

$$C_{Hi} = C_H \frac{|\Delta H_i|}{\sum |\Delta H_i|}$$

Remarque

L'ajustement n'est qu'un mal nécessaire qui n'améliore jamais les mesures et rend donc inutiles les décimales de calcul sans signification ; donc les compensations partielles sont arrondies, au mieux, au millimètre leur somme devant toutefois être rigoureusement égale à la compensation totale.

Le contrôle du calcul consiste à vérifier que l'altitude de l'extrémité obtenue de proche en proche depuis celle de l'origine à l'aide des dénivelées compensées est strictement égale à l'altitude connue.

d) Exemple de carnet de nivellement cheminé

Excel 7

Le carnet de nivellement cheminé proposé ci-après est disponible sous la forme d'un tableau Excel (fichier NIMINAK.XLS du cédérom). La méthode de compensation choisie est fonction de la présence ou non des lectures stadimétriques. Si elles sont présentes, la compensation est dans tous les cas proportionnelle aux portées. Si elles sont absentes, la compensation est proportionnelle aux nombre de dénivelées. Le tableau TABNIV.XLS du cédérom peut servir de carnet vide pour une saisie sur le terrain.

Remarque

- Les dénivelées obéissent à la règle générale suivante :
  dénivelée = lecture arrière – lecture avant ;
- les calculs de dénivelée sont faits en diagonale puisque, les stations n'apparaissant pas sur le tableau, on note en face de chaque point la lecture arrière et la lecture avant qui sont faites sur deux stations différentes ;
- la compensation peut être effectuée directement sur les dénivelées. Lors d'un calcul manuel, on peut rayer la dénivelée mesurée et écrire au-dessus la dénivelée compensée qui servira au calcul des altitudes.

- l'altitude de chaque point se calcule de proche en proche par la formule ci-dessous (attention aux unités) :

$$H_i = H_{i-1} + \Delta H_{i-1 \to i} + C_i$$

Le tableau suivant est réalisé à partir du fichier TABNIV.XLS pour Excel.

Carnet de nivellement ordinaire — Date : 01/05/96
Altitude de départ : 124,968 m — Matériel : NA 0 (a)
Altitude d'arrivée : 128,924 m — Opérateur : Milles

n°	Point visé	Lectures arrière			Lectures avant			Portée Dh m	Dénivelées ΔH (mm)		Comp.* mm	Altitude m
		S' mm	Niv mm	S mm	S' mm	Niv mm	S mm		+	−		
1	R1	1 973	1 925	1 878								124,968
								18,9	629		−2	
2	I1	1 536	1 524	1 508	1 343	1 296	1 249					125,595
								5,1	147		−1	
3	I2	1 866	1 836	1 806	1 388	1 377	1 365					125,741
								11,9	789		−1	
4	I3	1 016	0 988	0 955	1 076	1 047	1 017					126,529
								12,0		−650	−1	
5	54	1 696	1 661	1 626	1 667	1 638	1 608					125,878
								12,0	615		−1	
6	I4	1 709	1 678	1 647	1 072	1 046	1 022					126,491
								12,5	452		−1	
7	I5	1 634	1 604	1 572	1 258	1 226	1 195					126,942
								12,5	330		−1	
8	I6	1 363	1 333	1 304	1 306	1 274	1 243					127,271
								24,2	530		−3	
9	I7	1 314	1 155	0 995	0 896	0 803	0 713					127,798
								34,6	1 130		−4	
10	R3				0 039	0 025	0 012					128,924
9 dénivelées								143,7	4 622	−650	−16	

* compensation.

Fermeture : $f_H = 16$ mm ; Tolérance : $T_H = 18$ mm.
Conclusion : tolérance vérifiée pour *63* dénivelées au kilomètre.

6. CHEMINEMENT MIXTE

Depuis une station quelconque du niveau dans un cheminement, et après avoir enregistré la lecture arrière sur le point de cheminement précédent, l'opérateur vise plusieurs points de détail et effectue sur chacun d'eux une lecture unique qui est donc une lecture avant. Ensuite, il termine la station par la lecture avant sur le point de cheminement suivant . Par exemple, sur la fig. **43** , les points 1, 2 et 3 sont rayonnés depuis la station S1 dont le

point arrière est la référence (R) et le point avant A. L'opération en S1 est appelée **rayonnement**. Lorsqu'un cheminement comprend des points rayonnés et des points cheminés, on dit que c'est un **cheminement mixte**.

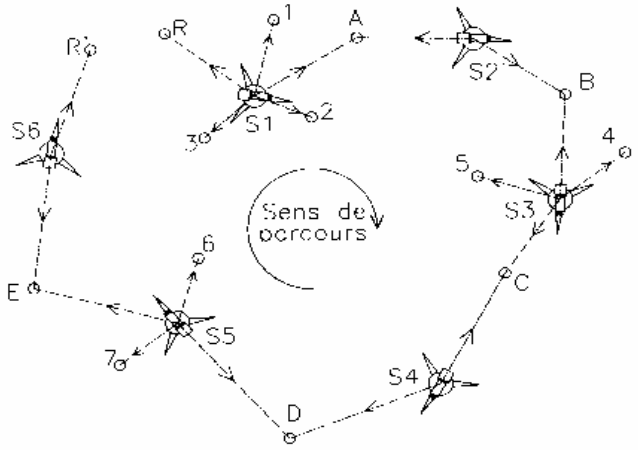


Fig.43 : Cheminement mixte encadré

Le cheminement de la figure 5.17. passe par les points R, A, B, C, D, E et R'. Les points 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 7 sont rayonnés. L'ensemble est un cheminement mixte encadré entre R et R'.

Sur le carnet de nivellement, un point rayonné est repérable directement au fait qu'il ne comporte pas de lecture arrière (ou bien la même lecture arrière que le point précédent du tableau ; voir l'exemple).

La règle de l'égalité des portées doit aussi s'appliquer aux points rayonnés pour assurer une précision optimale. Il faut donc choisir une station la plus centrale possible par rapport à tous les points à viser.

Le mesurage terminé, on **calcule d'abord le cheminement sans tenir compte des points de détails rayonnés**.

Puis on calcule les points rayonnés et on les note, par exemple, dans une autre couleur. Leur calcul est différent de celui des points cheminés. En effet :

- tous les points rayonnés depuis une même station sont calculés à partir de l'altitude du point arrière de la station. Cette différence de calcul entraîne souvent des erreurs qui peuvent être limitées par le respect du calcul en deux étapes : d'abord le cheminement seul puis les rayonnements et par l'emploi de couleurs différentes ;
- il n'y a pas de compensation sur la dénivelée d'un point rayonné puisqu'il n'y a pas de contrôle possible de sa valeur. L'altitude du point rayonné dépend de celle, déjà compensée, du point arrière du cheminement : H(du point rayonné) = H(du point du cheminement) + ΔH. Ce manque de contrôle exige une lecture particulièrement attentive sur ces points (par exemple, une lecture sur les trois fils).

Remarque

Sur chantier, on calcule souvent l'altitude d'un point rayonné en faisant intervenir la notion **d'altitude du plan de visée**, c'est-à-dire l'altitude de l'axe optique du niveau : elle est égale à l'altitude du point de référence arrière de la station augmentée de la lecture sur mire en ce point. Par exemple, le plan de visée de la station 1 (voir tableau

suivant) est : $Hpv_{S1} = 124{,}968 + 2{,}591 = 127{,}559$ m. L'altitude d'un point rayonné est alors l'altitude du plan de visée diminuée de la lecture sur la mire en ce point. Par exemple, pour le point 2 : $H_2 = Hpv_{S1} - 1{,}922 = 125{,}637$ m.

Exemple : le tableau ci-après réalisé à partir du NIMINAK.XLS, détaille le calcul du parcours schématisé à la figure **43** . Le tableau NIMINAK.XLS traite automatiquement les points rayonnés : il suffit de ne pas entrer de lecture arrière.

Carnet de nivellement ordinaire — Date : 01/05/96
Altitude de départ : 124,968 m — Matériel : NA 0 (a)
Altitude d'arrivée : 125,703 m — Opérateur : Dupond

n°	Point visé	Lectures arrière S' mm	Lectures arrière Niv mm	Lectures arrière S mm	Lectures avant S' mm	Lectures avant Niv mm	Lectures avant S mm	Portée Dh m	Dénivelées Dn (mm) +	Dénivelées Dn (mm) −	Comp.* mm	Altitude en m
1	R	2 703	2 591	2 480								124,968
2	1				1 407	1 292	1 177		(1 299)			126,267
3	2				2 033	1 922	1 812		(0 669)			125,637
4	3				1 126	1 047	0 967		(1 544)			126,512
5	A	2 835	2 813	2 791	1 653	1 528	1 403	47,3	1063		−3	126,028
6	B	1 749	1 678	1 607	1 072	1 046	1 022	9,4	1767		−1	127,794
7	4				1 258	1 226	1 195		(0 452)			128,246
8	5				1 973	1 925	1 878			(−0 247)		127,547
9	C	1 714	1 604	1 492	1 712	1 639	1 565	28,9	0039		−2	127,831
10	D	1 423	1 333	1 244	3 116	3 004	2 892	44,6		−1 400	−3	126,428
11	6				1 356	1 274	1 193		(0 059)			126,487
12	7				1 616	1 524	1 428			(−0 191)		126,237
13	E	1 264	1 155	1 045	0 896	0 803	0 713	36,2	0 530		−2	126,956
14	R'				2 511	2 405	2 299	43,1		−1 250	−3	125,703
		6 points cheminés						209,5	3 399	−2 650	−14	

* compensation.

Dans ce parcours, il y a sept points rayonnés et six points cheminés.
Fermeture : $f_H = 14$ mm ; Tolérance : $T_H = 15$ mm.
Conclusion : tolérances vérifiées pour 29 dénivelées au kilomètre.

Remarque

Les tableaux peuvent mélanger plusieurs unités (mm, dm et m). Ceci a un aspect formateur en obligeant l'opérateur comme le calculateur à faire attention et à préciser les unités utilisées. Mais c'est aussi une source d'erreur. Il est donc recommandé de noter les lectures sur mire directement en millimètre (par exemple 1 264 mm au lieu de 12,64 dm) pour deux raisons :

- cette notation permet de supprimer la virgule, souvent mal retranscrite ;
- elle offre une plus grande facilité dans les calculs si toutes les colonnes sont en millimètres, exceptée celle des altitudes qu'il suffira de diviser par 1 000 pour retrouver des mètres, ou bien de noter sans virgule, par exemple : 125 703.

Pensez à noter de même tous les chiffres lus sur la mire (par exemple 0 132) pour éviter les confusions d'unités.

7. CAS PARTICULIERS DE CHEMINEMENTS

a) Points au-dessus du plan de visée

En nivellement souterrain, il arrive que les points à niveler soient situés au-dessus du plan de visée (fig. **44**).

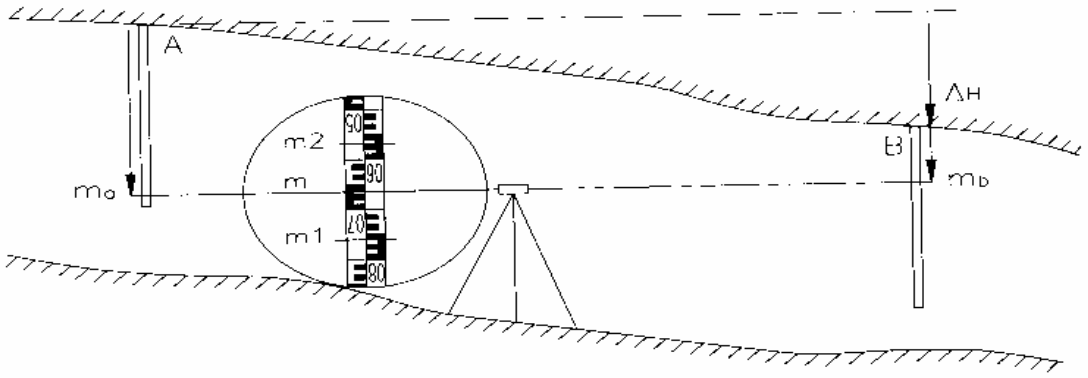


Fig. 44 : Nivellement en tunnel

Le porte-mire appuie la mire sur le point situé au-dessus du plan de visée : la mire est à l'envers. L'opérateur lit toujours sur les fils (s, n et s´), dans le sens de la chiffraison de la mire. Pour retrouver la convention adoptée (**Dénivelée = lecture arrière – lecture avant**), il suffit de considérer que les lectures faites avec une mire tenue à l'envers sont négatives. Elles seront donc précédées d'un signe moins sur le carnet de nivellement, ce

qui permettra de surcroît de les différencier des autres dans le cas où l'on vise alternativement des points situés en dessus ou en dessous du plan de visée. Si l'on progresse de A vers B (fig. 5.18.), on peut écrire : $H_B = H_A + \Delta H_{AB} = H_A + (m_a - m_b)$.

La dénivelée est bien négative (B est plus bas que A) puisque $ma < mb < 0$. On retrouve $\Delta H_{AB} = (m_a - m_b)$.

b) Points alternativement en dessus ou en dessous du plan de visée

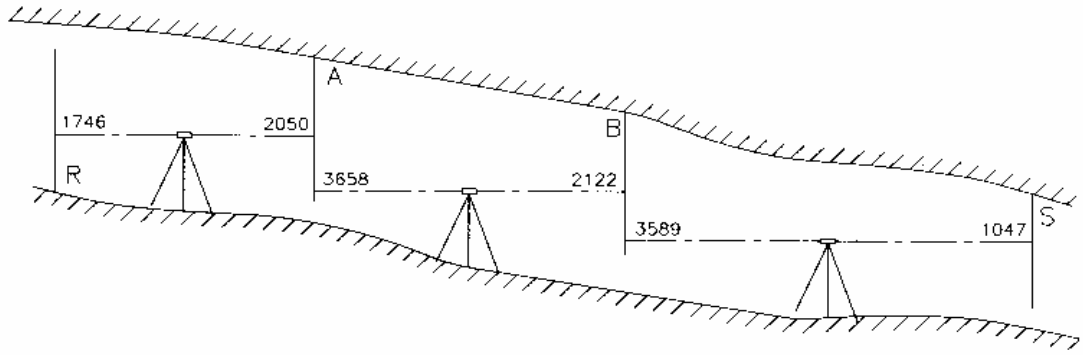


Fig.45 : Cheminement en tunnel

Application

Quelle est l'altitude du point S si celle de la référence R est de 23,840 m (fig. **45**) ?

Réponse

Points	*m* arrière (mm)	*m* avant (mm)	Dénivelée ΔH (mm)	Altitude *H* (m)
R	1 746			23,840
			3 796	
A	– 3 658	–2 050		27,636
			–1 536	
B	–3 589	– 2 122		26,100
			–2 542	
S		–1 047		23,558

c) Points nodal de cheminements

Le calcul de l'altitude d'un point nodal altimétrique se traite exactement comme celui des coordonnées planimétriques d'un point nodal.

Par exemple, trois demi-cheminements partant de trois points connus (A, B et C) aboutissent à un point nodal N d'altitude inconnue. Les calculs de chacun de ces trois cheminements donnent les résultats suivants :

- cheminement issu de A : $H_{N1} = 135{,}124$ m tolérance ± 16 mm
- cheminement issu de B : $H_{N2} = 135{,}129$ m tolérance ± 14 mm
- cheminement issu de C : $H_{N3} = 135{,}117$ m tolérance ± 18 mm

L'altitude finale du point N et la tolérance sur la moyenne pondérée seront calculées comme suit :

$$H_N = \frac{\frac{135{,}124}{16^2} + \frac{135{,}129}{14^2} + \frac{135{,}117}{18^2}}{\frac{1}{16^2} + \frac{1}{14^2} + \frac{1}{18^2}} = 135{,}14 \text{ m} \qquad T_m = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{16^2} + \frac{1}{14^2} + \frac{1}{18^2}}} = \pm 9 \text{ mm}.$$

La tolérance sur l'écart entre la valeur moyenne et chaque détermination de H_N est :

- Écart $H_{N1} - H_N = 0$ mm pour une tolérance de $T_1 = \sqrt{16^2 - T_m^2} = \pm 13$ mm,
- Écart $H_{N2} - H_N = 4$ mm pour une tolérance de $T_2 = \sqrt{14^2 - T_m^2} = \pm 11$ mm,
- Écart $H_{N3} - H_N = -7$ mm pour une tolérance de $T_3 = \sqrt{18^2 - \overline{Ts}_m^2} = \pm 16$ mm.

Pour terminer, on calcule chaque demi-cheminement comme étant **encadré entre point de départ et point nodal**.

Excel 7

Les tableaux NODALNO.XLS et NODALP.XLS du cédérom permettent d'automatiser les calculs de points nodaux de nivellement, respectivement en nivellement ordinaire et en nivellement de précision.

8. APPLICATIONS

a) Applications

Les résultats du tableau suivant sont issus des observations depuis quatre stations de deux repères stables (A et B) distants de 60,80 m. Les stations 1, 2, 3, 4 sont alignées entre les repères. La première série de mesures (stations 1 et 2) a été surprenante, au point de susciter une deuxième série (stations 3 et 4). Tirez-en une conclusion .

Stations	Points	Lectures arrière (mm)			Lectures avant (mm)		
		s	n	s'	s	n	s'
1	A	1 060	1 212	1 364			
	B				1 784	1 936	2 088
2	A	1 550	1 568	1 586			
	B				2 017	2 303	2 589
3	A	1 205	1 356	1 508			
	B				1 928	2 080	2 233
4	A	0 986	1 273	1 560			
	B				1 969	1 986	2 003

Réponse

Stat.	Pts	Lectures arrière (mm)			Vérif.	Lectures avant (mm)			Vérif.	Portée m	Dénivelée mm
		s	n	s'		s	n	s'			
1	A	1 060	1 212	1 364	0					30.4	
	B					1 784	1 936	2 088	0	30.4	– 724
2	A	1 550	1 568	1 586	0					3.6	
	B					2 017	2 303	2 589	0	57.2	– 735
3	A	1 205	1 356	1 508	0,5					30.3	
	B					1 928	2 080	2 233	0,5	30.5	– 724
4	A	0 986	1 273	1 560	0					57.4	
	B					1 969	1 986	2 003	0	3.4	– 713

Après vérification de la cohérence des lectures, $n = (s'+s)/2$ (voir les colonnes Vérification du tableau), on peut conclure qu'il n'y a apparemment pas de faute de mesure. Or on constate que les dénivelées sont très différentes suivant que l'on stationne au milieu de AB (stations 1 et 3) ou plus près de A (station 2), ou encore plus près de B (station 4). Il y a donc vraisemblablement un défaut d'inclinaison de l'axe optique du niveau utilisé.

Calcul de cette inclinaison pour chaque série de mesures:

- Première série : $\tan \varepsilon = (- 735 - (- 724))/(3\,600 - 57\,200)$ donc $\varepsilon = 13{,}06$ mgon.
- Deuxième série : $\tan \varepsilon = (\cdot\cdot 713 - (- 724))/(57\,400 \quad 3\,400)$ donc $\varepsilon = 12{,}97$ mgon.

Conclusion : la valeur de ε semble constante et vaut en moyenne 13 mgon. L'appareil vise trop haut ; l'erreur est importante car elle représente 6 mm à 30 m.

Si l'on veut utiliser cet appareil sans le régler, il faudra tenir compte de cette inclinaison pour tous les couples de points (arrière – avant) pour lesquels l'égalité des portées n'est pas respectée: ceci se fait en retirant à la lecture faite une valeur $P.\tan\varepsilon$, P étant la portée de la visée.

b) Application 2

Un nivellement par rayonnement est effectué avec le même instrument n'ayant subi aucun réglage. Déterminez l'altitude, au millimètre près, des points rayonnés I_1 et I_2, sachant que l'altitude de R_1 est de 124,248 m et que l'altitude de R_2 est de 122,830 m.

Station	Points	Lectures arrière (mm)			Lectures avant (mm)		
		s	n	s'	s	n	s'
S	R_1	0 355	0 611	0 868			
	I_1				1 688	1 734	1 780
	I_2				0 417	0 566	0 716
	R_2				1 771	2 027	2 283

Réponse

Pt.	s'/n/s mm	Vérif. mm	Dh m	Cor. mm	s'/n/s mm	Vérif. mm	Dh m	Cor. mm	ΔH mm	H mm
R_1	0 868 0 611 0 355	0,5	51,0	–10						124 248
I_1					1 780 1 734 1 688	0,0	9,2	–2	–1 131	123 118
I_2					0 716 0 566 0 417	0,5	29,9	–6	+41	124 290
R_2					2 288 2 031 1 773	0,5	51,5	–10	–1 420	122 830
								f_H = – 2 mm		

Comme il n'est pas satisfaisant de ne répartir la fermeture que sur la lecture avant sur R_2, on calcule l'altitude moyenne du plan de visée à partir des lectures corrigées sur R_1

et R_2 : $Hpv_1 = 124{,}248 + 0{,}611 - 0{,}01 = 124{,}849$ m

$Hpv_2 = 122{,}830 + 2{,}031 - 0{,}01 = 124{,}851$ m

On trouve donc une altitude moyenne de **124,860 m** (fermeture de 2 mm), à partir de laquelle les points rayonnés sont calculés, soit :

$H_{11} = 124{,}850 - (1{,}734 - 0{,}002) = 123{,}118$ m

$H_{12} = 124{,}850 - (0{,}566 - 0{,}006) = 124{,}290$ m.

La colonne *vérif.* affiche la valeur de $(s'+s)/2 - n$: contrôle de la cohérence des données.

La colonne *portée* est l'évaluation de la portée par stadimétrie $P = 100 . (s' - s)$.

La colonne *Cor.* est le calcul de la correction due à l'inclinaison ε à apporter à la lecture n : $- P . \tan\varepsilon$.

La colonne ΔH donne les dénivelées corrigées du défaut d'inclinaison de l'axe optique.

VI. NIVEAUX DE CHANTIER DE PRÉCISION

1. GÉNÉRALITÉS.

La précision de calage est obtenue par un compensateur très précis. Par example, pour le NA2, la précision de calage du compensateur est de l'ordre de ±0,09 mgon sur une plage de débattement de ± 55 cgon.

Appelés fréquemment « niveau d'ingenieur » dans les documentations techniques, les niveaux de précision diffèrent des niveaux ordinaires par :

- un grossissement plus important permettant des visées plus précises :G=30 à 35 au lieu de 20 à 25 ;

- une meilleure précision de calage de l'axe pricipal : 0,1''s à 0,2 '' (1''≈ 3dmgon) ;

- un écart type plus faible ;

NA2. Doc. Leica

2. MIRES

Les mires sont conçues comme les mires de nivellement ordimaire, mais leur étalonage est régulièrement controlé au comparateur et elles sont munies de **contrefiches** qui maintiennent la mire stable en position verticale pendant la mesure (fig. 46-a). En nivellement de précision, l'emploi d'un parasol (fig. 46-a) est conseillé de manière à éviter les divers dues aux fortes variations de température.

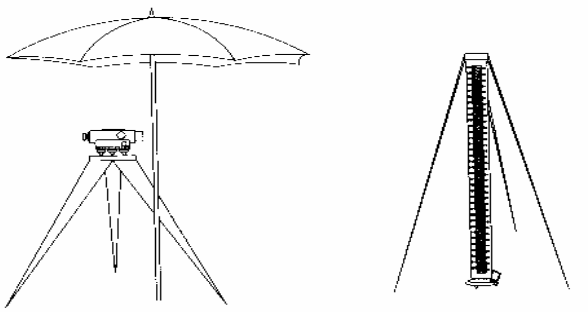


Fig. 46-a. : Mire Invar avec contreficheS, niveau abrité du soleil

L'emploi des crapauds (fig. 46-b) est conseillé sur les terrains durs pour obtenir des points d'appuis stables précis et pour éviter les mouvement s de mire lors de son retournement : c'est un socle en fonte muni à sa partie supérieure, d'une portée bombée destinée à recevoir la partie inférieure de la mire (qui elle-même peut comporter un élément de centrage). Sur terrain meuble, on utilise des piquets enfoncés à refus.

Fig. 46-b

3. CHEMINEMENT DOUBLE

Pour déterminer avec précision l adénivelée entre deux points A et B sans pour autant faire un cheminement aller – retour, on imploie le cheminement double. Cette méthodeconsiste **à niveler simultanément deux cheminement parallèles voisins mais indépendants** (voir fig. 47). Cela nécessite donc un opérateut, deux aides, deux mires et deux crapauds, chacun étant affecté à l'un des deux cheminements de manière à conserver **l'independance** des deux parcours : on peut, soit numéroter les crapauds et les mires, soit repérer un des aides porte-mire avec un vêtement spécial : on parle alors de la méthode du pantalon pouge, signe dinstictif de nepas confondre les aides.

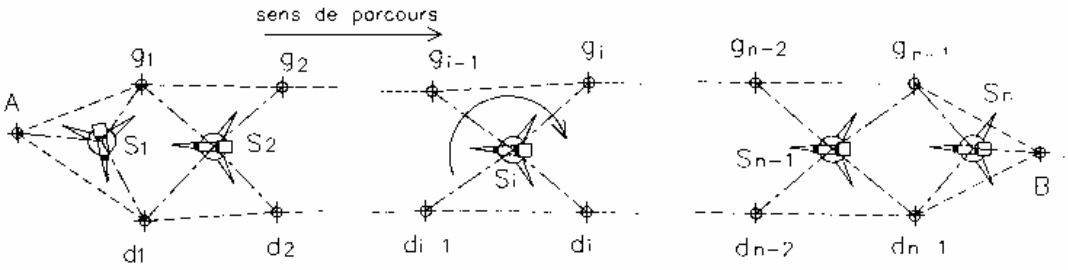


Fig.47: Cheminement double

Cette méthode est également appelée **méthode Cholesky**, du nom de son inventeur. Elle consiste à lire à chaque visée les trois fils (niveleur et stadimétriques) sur chaque cheminement, soit douze lectures par station !

La description détaillée de la méthode est la suivante : les points (g) à gauche, (d) à droite, par rapport au sens de parcours sont placés en vis-à-vis à 50 cm environ l'un de l'autre, à l'aide de couples matérialisés par des crapauds ou par des piquets enfoncés à refus. L'égalité des portées est respectée au mieux (à 1m près) par évaluation au pas du seul porte-mire.

À la station S_i, on lit successivement les points di–1, gi–1, gi, di.

La méthode dite **Cholesky simplifiée** permet de faire moins de lectures, à savoir :

- les points de droite au trait niveleur et aux deux traits stadimétriques ; ceci permettra d'évaluer la longueur du parcours par stadimétrie et de détecter plus facilement une éventuelle faute de lecture ;
- les points de gauche au trait niveleur uniquement (« seulement » huit lectures par station).

À l'origine comme à l'extrémité, il faut placer chaque mire sur le point pour avoir deux mesures indépendantes.

À chaque station :

- vérifier que la lecture au trait niveleur est égale à la moyenne arithmétique des lectures aux traits stadimétriques ;
- effectuer **le contrôle de marche** : on peut calculer deux fois la dénivelée entre deux points jumelés (par exemple g_1 et d_1), une fois grâce aux lectures avant de la station précédente (S_1) et une autre fois grâce aux lectures arrière de la station suivante (S_2). On compare ensuite les résultats obtenus. Ce contrôle vérifie la stabilité des points d'une station à l'autre et permet de détecter immédiatement une faute de lecture. Dans

le cas de mires à double graduation, on contrôlera aussi la valeur du décalage entre les deux graduations de la mire Invar

C'est l'écart entre les valeurs absolues des deux dénivelées indépendantes fournies par les cheminements gauche et droite reliant deux points A et B distants de 1 km qui est donné comme « écart type pour 1 km de cheminement double ». Si cet écart est inférieur à la tolérance, on prend comme valeur absolue de la dénivelée définitive la moyenne arithmétique des deux dénivelées.

Ci-dessous est donné un exemple de tableau de lecture avec ses contrôles.

St	Lectures arrières (mm)		Contrôle	Lectures avant (mm)		Contrôle	ΔH gauche	ΔH droite
	gauche	droite	ΔH g-d	gauche	droite	ΔH g-d	(mm)	(mm)
S_1	s' = 0 645 n = 0 535 s = 0 424	n = 0 535	0 000	s' = 1 700 n = 1 690 s = 1 679	n = 1 489	0 201	−1 155	−0 954
S_2	s' = 0 732 n = 0 612 s = 0 492	n = 0 411	0 201	s' = 1 934 n = 1 814 s = 1 694	n = 1 912	−0 098	−1 202	−1 501
Etc.	....	....	....	....	....	....	....	....
S_n	s' = 1 772 n = 1 642 s = 1 512	n = 1 511	0 131	s' = 1 184 n = 1 054 s = 0 924	n = 1 054	0 000	0 588	0 457
						Somme	5 001	5 003

Les dénivelées gauche-droite en visée arrière à la première station et en visée avant à la dernière station doivent être nulles car il n'y a, à ces endroits, qu'un seul point, respectivement point de départ et point d'arrivée.

Le contrôle de marche sur les stations S_1 et S_2 se fait en comparant la dénivelée gauche-droite arrière à la dénivelée gauche-droite avant (dans notre exemple, 201 mm dans les deux cas).

On contrôle aussi que $n \approx (s' + s)/2$. On peut accessoirement contrôler l'égalité des portées par stadimétrie.

Le contrôle final global porte sur la somme des dénivelées du parcours de gauche qui doit être égale à la somme des dénivelés du parcours de droite.

Remarque

Une autre méthode (plus longue car multipliant les mises en station par deux) consiste à n'utiliser qu'un seul cheminement de points mais en faisant deux stations entre chaque couple de points (fig.47-a.). On utilisera toujours un opérateur avec un niveau, un aide avec une mire Invar, crapaud, etc.

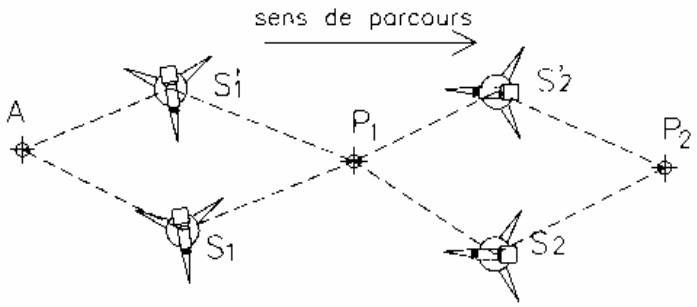


Fig. 47-a : Cheminement par double station

4. PRÉCISION ET TOLÉRANCES D'UN NIVELLEMENT PAR CHEMINEMENT

L'écart type au kilomètre de cheminement double est de l'ordre de ± 1 mm.

La norme DIN 18723 décrit les méthodes de mesure et de définition de ces écarts types pour un niveau.

L'ordre de grandeur pour un nivellement de précision est :

- $T_{\Delta H}$ = ± 13 mm pour 1 km de cheminement avec portées moyennes supérieures à 30 m ;
- $T_{\Delta H}$ = ± 16 mm pour 1 km de cheminement avec 50 portées de 20 m (25 dénivelées).

VII. NIVEAUX DE CHANTIER DE HAUTE PRÉCISION

1. GÉNÉRALITÉS.

Leurs caractéristiques sont légèrment meilleures que celles des meillers niveaux de précision dont ils se distinguent souvent par l'ajout d'un micromètre optique, seul système permettant d'apprécier le centième de milimètre dans les lectures sur la mire.

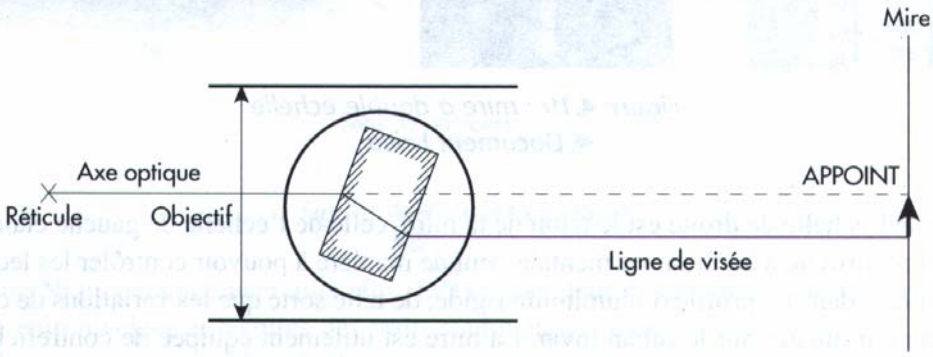


Figure 4.17 : micromètre d'objectif
Document Leica

Ainsi le NA2 auquel on ajoute un micromètre optique (appareil indépendant fixé sur le niveau) devient-il un niveau de haute précision.

Un des appareils les plus performants dans ce domaine est le N3: niveau à bulle torique à coïncidence, écart type de ± 0,2 mm pour 1 km de cheminement double, très peu sensible aux vibrations, champs magnétiques, etc., il dispose d'un micromètre optique incorporé visible dans le même oculaire que la bulle à coïncidence pour être sûr du réglage optimum à l'instant de la lecture.

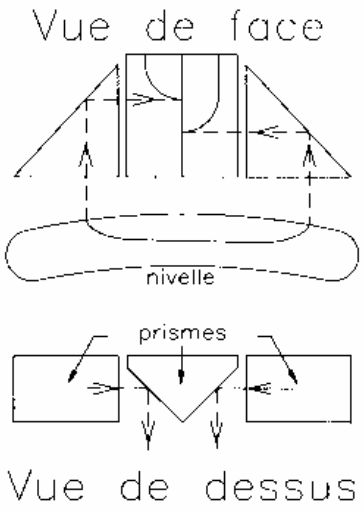


Fig.48 : Système de bulle coupée

Son calage est assuré par une nivelle torique de section parabolique de grande sensibilité (±3 mgon pour 2 mm). Cette nivelle est très précisément centrée par un système de mise en coïncidence des deux extrémités de la bulle (fig. 48). La bulle est optiquement découpée par un système de prismes ; l'opérateur fait coïncider les deux demi-bulles qu'il voit dans le prisme central : à cet instant, la bulle est « parfaitement » centrée. La précision de calage est supérieure à celle d'un compensateur mais ce calage doit être effectué **avant chaque visée**, ce qui donne l'avantage de la rapidité au niveau automatique, actuellement le plus répandu.

2. MIRES DE PRÉCISION ET MIRE INVAR A DOUBLE ÉCHELLE

La plus utilisée est la **mire Invar à double échelle** (fig. 49).

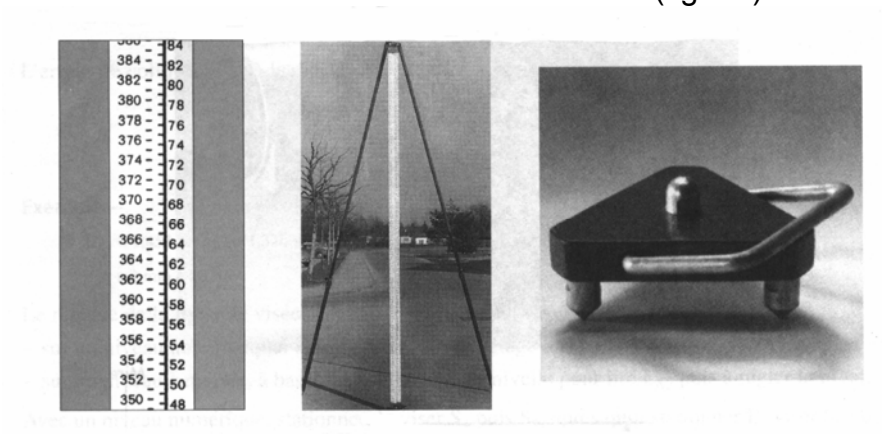


Fig. 49

La graduation, dont les traits ont une forme oblongue particulière, est portée par un ruban de métal Invar (dilatation inférieure à 1.10^{-6} /°c) de trois mètres de long,

La graduation, dont les traits ont une forme oblongue particulière, est portée par un ruban de métal Invar (dilatation inférieure à 1.10^{-6} /°c) de trois mètres de long,fixé au bas de la mire et maintenu sous tention constante par un ressort situé en partie supérieure.Les chiffres (en centimètre, fig. 49-a) sont peints sur le support.

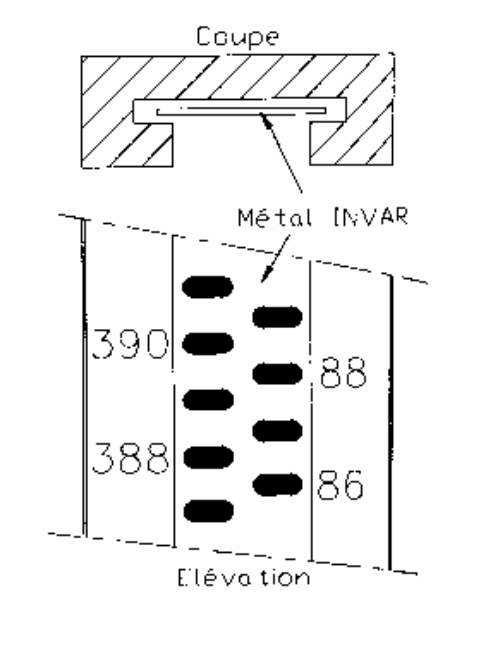


Fig. 49-a

Les deux échelles (gauche et droite) du ruban sont décalées d'une constante connue (ou mesurable), de manière à contrôler les résultats et àdétecter toute faute de lecture. Le décalage de la mire Wild par exemple est égale à **301, 55 cm.** L'inscription des divisions se fait au moyen d'un laser quidé par interférométrie de manière à optimiser les contourset à assurer des irrégularités inférieures à 0,01 mm.

Posée sur un socle spécial, ou crapaud, sur lequel elle se centre grâce à un cylindre de positionnement, la mire est calée verticalement par l'intermédiaire de sa nivelle sphérique, et maintenue immobile à l'aide de contrefiches (fig. 46 – a).

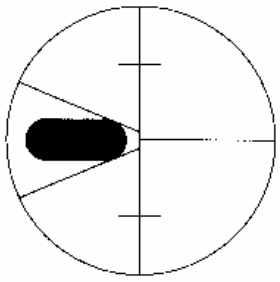


Fig. 50 : Pointé sur Mire

La forme oblongue des graduations permet un pointé par tangence du coin formé par la partie gauche des fil du réticule des niveaux de précision (voir fig. 50) Ceci donne une précision de pointé meilleure que le simple alignement ou que l'encadrement.

Attention à la **tenue de la mire** et à la **stabilité des points** : on cherche à approcher le centième de millimètre. De même, veillez à ne pas provoquer l'enfoncement des crapauds en posant la mire brutalement ou en marchant près du crapaud sur un sol meuble.

3. LECTURES SUR MIRE AVEC MICROMÈTRE OPTIQUE

Une des limites de la précision du nivellement est la capacité humaine à apprécier une valeur au millimètre près sur une mire graduée en centimètre. L'appréciation dépend de l'acuité visuelle de l'opérateur et reste subjective. Le micromètre optique permet d'améliorer la précision en fournissant un appoint de lecture jusqu'au centième de millimètre.

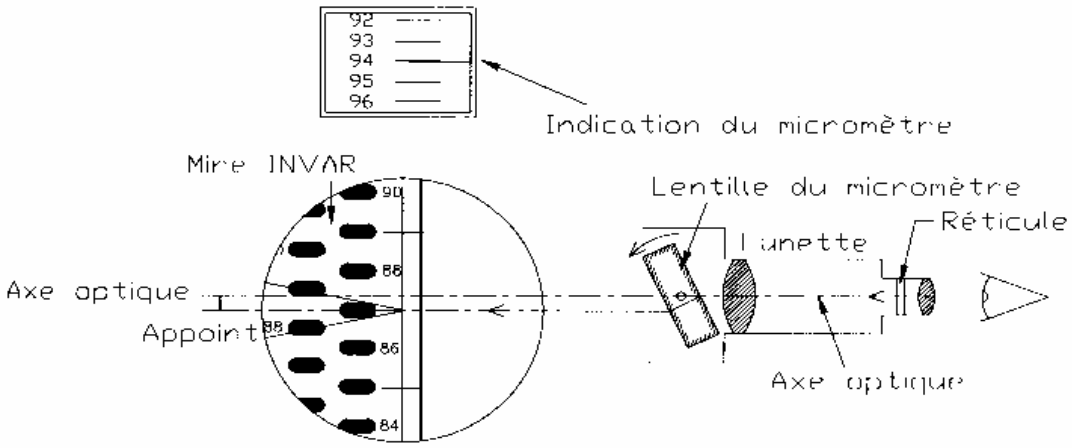


Fig. 51 : Lecture avec micromètre optique

Le **principe** du micromètre optique est le suivant (fig. 51) : une lame de verre à faces parallèles, inclinable par rotation autour d'un axe horizontal lié à l'appareil, déplace l'axe optique **parallèlement à lui-même** (suivant la verticale) de la valeur de l'appoint à évaluer sur la mire. Ce déplacement est piloté par l'opérateur. La valeur de la rotation est

traduite par le mécanisme du micromètre en une longueur de déplacement vertical, affichée dans un oculaire placé généralement à côté de l'oculaire de visée. Sur la figure **51**, on lit par exemple 87,941 cm.

Remarque

La valeur 87,941 cm ne correspond pas à la position réelle du fil niveleur sur la mire ; cette dernière est de l'ordre de 87,5 cm. Il existe donc une constante qui est introduite de manière à ne lire que des quantités positives sur l'écran du micromètre. Cette constante s'élimine par différence lors du calcul des dénivelées.

En pratique, il n'y a pas d'ambiguïté sur le choix du fil à pointer car le **débattement du micromètre n'est que de 10 mm ;** en effet, il n'existe à chaque visée **qu'une seule graduation accessible** par le déplacement apparent du réticule.

4. LES CHEMINEMENTS DE HAUTE PRÉCISION

Les portées ne doivent pas excéder 35 m, l'égalité des portées étant réalisée à 1 m près.

a) Cheminements aller et retour

Il s'agit d'observer le cheminement dans les deux sens, sur crapauds, ou mieux, sur piquets métalliques enfoncés à refus.

À chaque station, il faut lire les deux échelles de deux mires Invar, placées l'une à l'avant, l'autre à l'arrière, en inversant les mires. Si l'aller et le retour ont lieu sur les mêmes points (piquets stables), chaque dénivelée fait l'objet de **quatre déterminations indépendantes**, ce qui améliore la précision.

b) Nivellement double

Le principe reste celui exposé au paragraphe VI-3 en effectuant des lectures **sur les deux graduations des deux mires** Invar, soient 24 lectures par station. L'opérateur commence généralement par faire un tour d'horizon des mires posées sur les points di–1, gi–1, gi et di en sens horaire (voir fig. **47**) . Puis l'opérateur inverse le sens de rotation pour lire les mires sur les points di, gi, gi–1 et di–1 : ceci permet de limiter l'effet des rattrapages de jeu dans le mécanisme de guidage en rotation.

Comme dans toutes les méthodes utilisant deux mires, la « mire arrière » devient « mire avant » à la dénivelée suivante et réciproquement, afin d'éliminer une éventuelle **erreur systématique au talon de la mire**.

Pour réduire le nombre considérable de lectures, on utilise la **méthode Merlin**, dérivée de la méthode Cholesky : elle consiste à ne lire qu'un seul des deux fils stadimétriques (s' ou s au lieu de s' et s), la portée étant alors évaluée par $P = 200.(s' - n)$ ou bien $P = 200.(n - s)$. Il ne reste plus que 16 lectures !

Il est encore possible de réduire ce nombre en ne lisant les fils stadimétriques que sur une seule des deux échelles (gauche ou droite). Par exemple, pour chacun des deux cheminements indépendants, les lectures sont les suivantes : fils *s'* et *n* sur la graduation de gauche de la mire, fils *n* sur la graduation de droite, ce qui réduit le nombre de lectures à 12 par station.

Et, à chaque station, on doit toujours :

- effectuer **le contrôle de marche** et la vérification de la cohérence des couples stadimétriques et niveleur ;
- vérifier **l'écart d'échelle**, c'est-à-dire (fil niveleur gauche) – (fil niveleur droite) ≈ 301,55 cm pour les mires Invar Wild.

Le tableau NIMINA2.XLS, fourni sur le cédérom, permet de calculer un cheminement simple de précision.

5. ERREURS A PRENDRE EN COMPTE

La précision recherchée étant importante, il faut prendre en compte de nouvelles sources d'erreur qui peuvent être négligées en nivellement ordinaire ou en nivellement de précision. À l'inverse, les erreurs systématiques citées pour le nivellement ordinaire sont pratiquement éliminées par les méthodes et les appareils utilisés.

a) Erreur de niveau apparent

Ce phénomène est étudié en détail dans le chapitre 6 sur le nivellement indirect, paragraphe 5. Les formules qui y sont démontrées restent valables dans le cas du nivellement direct avec un angle zénithal *V* égal à 100 gon.

La réfraction atmosphérique incurve le trajet des rayons optiques vers le sol et diminue la lecture sur la mire. La courbure de la terre augmente la lecture sur la mire. La combinaison des deux erreurs, qui vont en sens inverse l'une de l'autre, est nommée **erreur de niveau apparent**. La correction de niveau apparent *Cna* à apporter à toute dénivelée est **toujours positive**. Pour une portée *P* en kilomètres, *Cna* exprimée en mètres vaut :

$$\Delta H_{réel} = \Delta H_{observé} + Cna \quad \text{et} \quad \boxed{Cna = \frac{P_{km}^2}{15,2} \text{ en mètres.}}$$

L'ordre de grandeur de cette correction est de 0,1 mm à 35 m.

Ceci étant comparable à la précision recherchée en nivellement de haute précision, le phénomène ne peut plus être négligé. En fait, en raison de sa nature, cette erreur est **éliminée par l'égalité des portées.** Elle pourra donc être négligée, sauf pour les points rayonnés pour lesquels la portée avant serait différente de la portée arrière de plus de 15 m.

Le fait de ne pas faire de portées de plus de 30 m permet aussi **de minimiser le phénomènes de réfraction asymétrique** (modification du coefficient de réfraction d'u point à l'autre d'un cheminement). Il faut aussi éviter les visées rasantes, les visées tro dissymétriques (une lecture très haute sur la mire suivie d'une lecture très basse), le visées par fort flamboiement de l'air, les visées proches d'objets massifs dont la tempé rature peut être très différente de l'air ambiant (cours d'eau, rochers, murs...).

b) Erreur de calage du compensateur d'un niveau automatique

Le compensateur étant lié à l'axe optique (O) de la lunette, **son erreur de calage *e* a l même signe que l'inclinaison *i* de l'axe optique sur l'horizontale**. Comme l'ax optique est perpendiculaire à l'axe principal (P), le défaut de verticalité de ce dernier e aussi égal à *i*.

Dans le cas de la figure 52 , le compensateur ne « relève pas assez la visée » lors de l visée sur le point B pour rétablir son horizontalité. Il subsiste une erreur $e = m'_b - m_b$.

Si l'on retourne l'appareil pour viser A, le compensateur « n'abaissera pas suffisamme la visée » et il subsistera une erreur $e = m'_a - m_a$.

L'erreur de calage du compensateur sera donc positive vers l'arrière (sur l'exempl fig. 52) et négative vers l'avant, engendrant des erreurs *e* opposées **si les portées sor égales**.

Il apparaît une erreur sur la dénivelée ayant pour valeur :

$$\Delta H'_{AB} = (m'_a - m'_b) = (m_a + e) - (m_b - e) = (m_a - m_b) + 2e = \Delta H_{AB} + 2e$$

Si la même erreur se cumule sur plusieurs dénivelées, elle devient trop importante sur l cheminement complet.

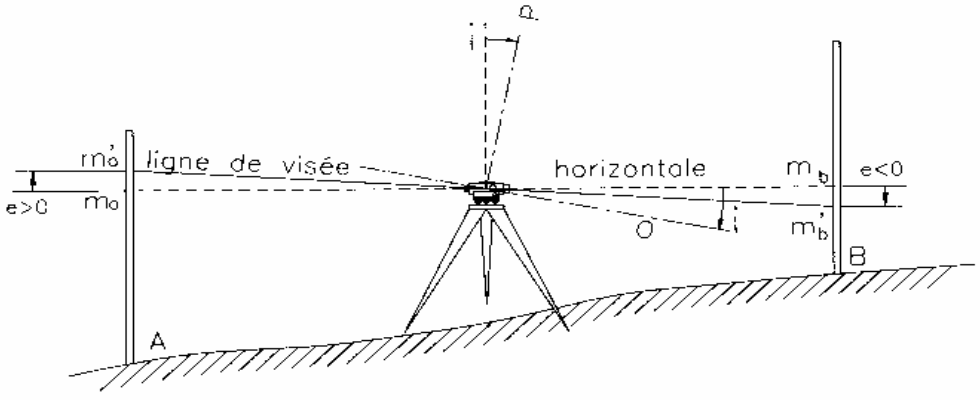


Fig. 52 : Compensateur faussé

On peut tout de même minimiser l'effet de cette erreur en procédant comme schématisé sur la figure **53** :

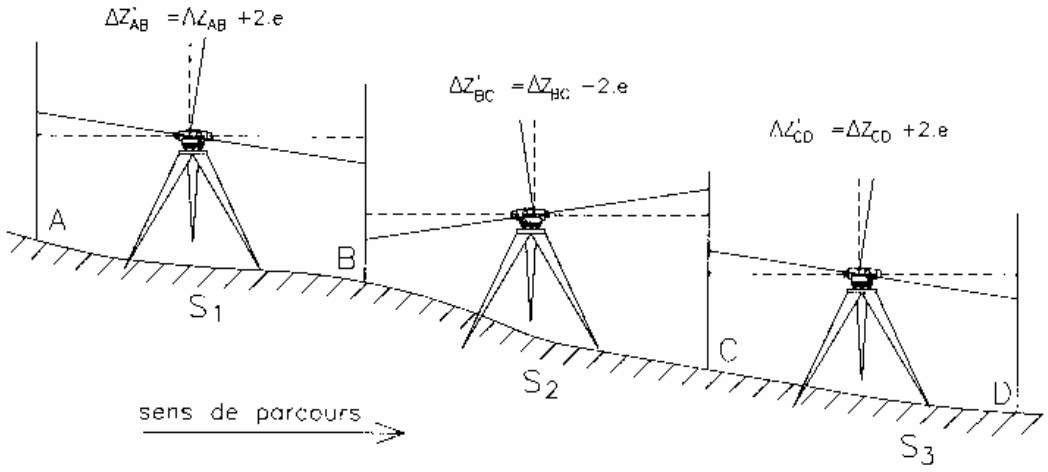


Fig. 53 : Élimination du défaut du compensateur

Le défaut de calage du compensateur a toujours le même sens par rapport à l'appareil. Pour inverser le sens de l'erreur $2e$, il suffit de caler l'axe vertical une fois « à gauche » et une fois « à droite » de la verticale réelle (si l'on se réfère à la figure 52 sur laquelle il est « à droite » et si l'on raisonne dans le plan de la figure). On obtient ainsi un effet de compensation toutes les deux dénivelées, comme schématisé sur la figure **53** .

La nivelle sphérique occupant une position fixe sur le niveau par rapport à l'axe optique, l'opérateur s'arrange pour caler l'appareil une fois sur deux dans la même position (par exemple, nivelle à gauche du sens de parcours) et alternativement dans la position diamétralement opposée. L'erreur e change de signe et s'annule toutes les deux dénivelées.

- Aux stations impaires, par exemple, l'opérateur dirige la lunette vers la mire arrière **avant de caler la nivelle sphérique**.
- Aux stations paires, l'opérateur dirige la lunette vers la mire avant **puis cale la nivelle sphérique**.

Si toutes les portées sont sensiblement égales, l'erreur due au déréglage du compensateur s'élimine toutes les deux stations.

On notera une certaine méfiance des professionnels vis-à-vis des pendules des niveaux automatiques, qui subiraient l'influence d'un environnement métallique ou électrique.

c) Tolérances d'un cheminement de haute précision

L'écart type sur un kilomètre de cheminement double en haute précision est de l'ordre de ± 0,2 à ± 0,7 mm.

Les tolérances sont données au paragraphe V-3-e . L'ordre de grandeur en nivellement de haute précision est le suivant :

- $T_{\Delta H} = \pm 8$ mm pour 1 km de cheminement avec portées moyennes supérieures à 30 m.
- $T_{\Delta H} = \pm 10$ mm pour 1 km de cheminement avec 50 portées de 20 m (25 dénivelées).

6. CLASSEMENT DES NIVEAUX EN FONCTION DE L'ORDRE DU NIVELLEMENT

Les nivellements se classent suivant le degré de précision requis. Chaque ordre est associé à un degré de précision que l'on peut rapprocher de l'écart type constructeur de chaque appareil. La progression suivante est habituellement utilisée en France.

Ordre	Précision (mm / km)	Niveaux de la gamme Leica
I	± (0,1 à 0,5)	Mire Invar obligatoire. N3, NA2 avec micromètre, NA3000 (numérique).
II	± (0,5 à 1,0)	NA2 sans micromètre, NA2002 avec mire Invar à codes-barres
III	± (1,0 à 1,5)	Avec mire de nivellement NA3000, NA2002, NA28, NA828.
IV	± (1,5 à 2,0)	NA24, NA824, Kernlevel, NA20.

Les précisions (ou écarts types) sont toujours donnés pour 1 km de nivellement double.

VIII. PLANIMÉTRE MÉCANIQUE

1. GÉNÉRALITÉS.

Le *planimètre* est un appareil mesureur intégrateur qui fournit mécaniquement la superficie d'un contour fermé dessiné à une échelle déterminée.

2. CONSTRUCTION D'UN PLANIMÈTRE POLAIRE A POLE FIXE

a) Lectures

Il est constitué de 4 parties :

-un bras polaire de longeur fixe PA = p, tournant autour d'un pôle P fixe(fig.54) ; le cercle (P,p) est appelé cercle de base ;

-un bras moteur de longueur AB= *l* réglable,articulé en A à nl'extrémité du bras polaire et portant une loupe B ;

-une roulette intégrante R perpendiculaire à AB, située à la distance fixe λ de A;

-un dispositif indicateur à afficage LCD qui enregistre les déplacements de la roulette ; cet « affichage digital » remplace désormais les anciens compteurs à échelle à traits et verniers.

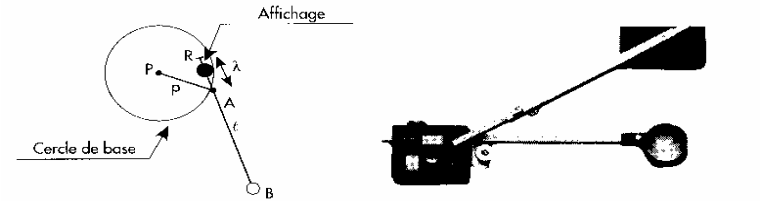


Fig. 54

Le *vernier* est une petite échelle à traits située à la suite de l'index dans le sans de chiffraison du limbe(fig. 55) ; sa longueur est égale à (n-1) longueurs d'echelon du limbe et il est lui-même divisé en n paries égales.

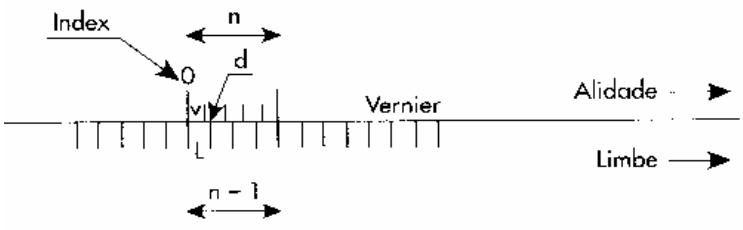


Fig. 5

(n-1). L= n. v⇒ v= (n-1)/n. La différence entre une longueur d'échelon du limbe et du vernier vaut : d= L-v = L-(n-1)/n.L⇒ d= L/n ;

Lorsque l'index est exactement en prolongement d'un trait du limbe, la division 1 duvernier est en retard de la division du limbe de L/n, etc. et la division i de i.L/n. Si on déplace l'alidade portant l'index et son vernier d'une fraction d'échelon égale à i.L/n, la valeur de ce déplacement représente l'appoint ; celui-ci est donc donné par la valeur du trait i du vernier qui se trouve exactement en prolongement d'un trait du limbe. Un vernier au 1/n permet d'evaleur l'appoint au 1/n de la valeur d'échelon, généralement au 1/10 pour les planimètres.

Afin de faciliter la lecture, les graduations du vernier sont parfois chiffrées de manière à donner la valeur nominale de l'appoint et non selon leur rang ; il est en tout cas conseillé de les « lire » de cette façon.

Règle de lecture :

1. reconnaître la valeur de l'échelon du limbe et du vernier ;
2. enregistrer la valeur du trait du limbe précédant immédiatement l'index ;
3. après avoir estimé l'appoint, chercher dans la région correspondante du vernier le trait de celui-ci qui se trouve exactement en prolongement d'un trait du limbe ; la valeur de ce trait représente la valeur de l'appoint ;
4. pour une valeur d'échelon du vernier égale à 2, si deux traits consécutifs du vernier sont compris entre deux traits consécutifs du limbe, prendre la moyenne de leurs valeurs.

b) Intégration

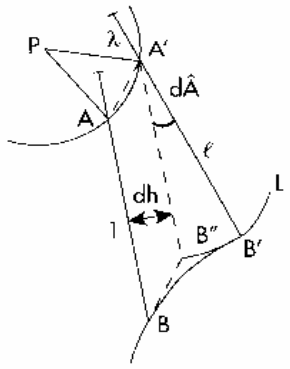


*Figure **56** : déplacements infinitésimaux*

Soit, sur une ligne de contour L, *deux points infiniment voisins B et B'* (fig. **56**).

Soit dS l'aire infiniment petite comprise entre les deux positions AB et A'B' du bras moteur, le cercle de base et la ligne L.

Le déplacement de B en B' peut être décomposé :

– en une translation de AB en A'B'', la roulette enregistrant dh par glissement ;

– suivie d'une rotation de A'B'' en A'B', la roulette enregistrant $\lambda \cdot d\hat{A}$, avec $d\hat{A}$ en rad.

La roulette a donc enregistré : $dx = dh + \lambda \cdot d\hat{A} \Rightarrow dh = dx - \lambda \cdot d\hat{A}$.

Par ailleurs : $dS \approx dS_{AA'B''B} + dS_{A'B''B'} + dS_{BB''B'}$, en négligeant l'aire du segment AA'.

Soit, en négligeant également l'aire $dS_{BB''B'}$,

$$dS \approx \ell \cdot d_h + \frac{\ell^2}{2} \cdot d\hat{A} = \ell \cdot dx - \ell \cdot \lambda \cdot d\hat{A} + \frac{\ell^2}{2} \cdot d\hat{A} = \ell \cdot dx - \left(\ell \cdot \lambda - \frac{\ell^2}{2}\right) \cdot d\hat{A}$$

D'où en intégrant : $$S = \ell \cdot x - \left(\ell \cdot \lambda - \frac{\ell^2}{2}\right) \cdot \int d\hat{A}$$

Quand l'opérateur parcourt un contour fermé, il va d'abord de B en B_1, balayant l'aire BAA_1B_1 par exemple (fig. **57**), pour revenir en B en balayant dans l'autre sens l'aire $A_1B_1BA + S$, soit $-BAA_1B_1 + S$; la somme algébrique au dispositif indicateur correspond donc à la seule superficie S.

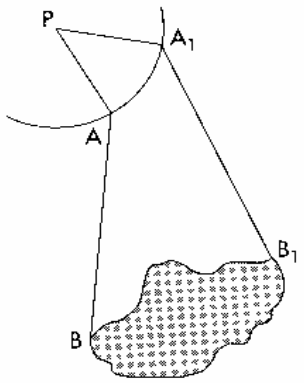


Figure 57: balayages

En outre, du fait du retour à la position de départ, il vient : $\int d\hat{A} = 0 \Rightarrow S = \ell \cdot x$.

En pratique, on multiplie la différence des lectures au dispositif indicateur, avant et apr parcours, par la valeur en superficie de l'unité du dispositif indicateur, appelée *surface-chiffr* ou du compteur, appelée *unité du vernier*.

Cette valeur de l'unité, appliquée à un comptage par impulsions fonction de la longueur du br moteur et de l'échelle du dessin, est donnée par le constructeur ; à l'échelle 1/1 elle est le plu souvent égale à 0,1 cm^2.

Exemple.—

Sur un plan à l'échelle 1/500 les lectures après et avant parcours valent respectivement 6954 et 6678.

D'où : x = 6954 6678 = 276 unités ou impulsions.

À cette échelle, et pour la longueur de bras moteur utilisée, la surface-chiffre ou unité du vernier vaut 2,5 n

La superficie est donc égale à : $276 \times 2,5 = 690$ m^2, hors jeu du papier.

c) Mesurage

Pôle à l'extérieur de la surface (fig.**58**)

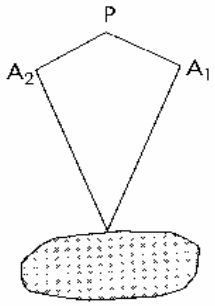


Figure 58 : pôle à l'extérieur de la surface

Deux mesures, faites en inversant le sens de parcours ainsi que les positions relatives des deux bras, fournissent un résultat contrôlé, expurgé des erreurs systématiques.

Pôle à l'intérieur de la surface (fig. **59**)

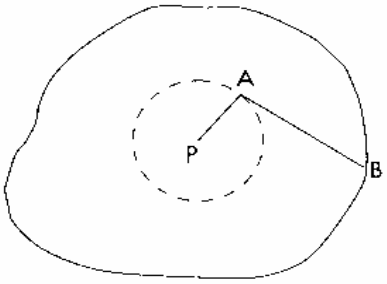


Figure 59 : pôle à l'intérieur de la surface

Une grande superficie se mesure pôle à l'intérieur ; elle est égale à la somme de la superficie fournie par le dispositif indicateur et de la superficie du cercle de base donnée par le constructeur.

Les planimètres sont souvent munis d'une réglette d'étalonnage qui permet de mesurer l'aire connue d'un cercle ; en pratique, il est préférable de mesurer la superficie de quelques carreaux décimétriques du quadrillage du plan, puis de déterminer le coefficient de correction tenant compte du jeu du papier.

Les instruments actuels à affichage digital possèdent des fonctions préprogrammées parmi lesquelles :

- mise à zéro et étalonnage électronique ;
- sélection de l'unité : cm^2, m^2, km^2, unités anglaises diverses ;
- échelles courantes, avec la possibilité d'introduire deux échelles différentes, en X ou « à l'horizontale » et en Y ou « à la verticale », intéressante pour les profils en long par exemple ;
- mémorisation, sommes, différences, moyennes de superficies répétées ou non.

La précision d'un planimètre dépend beaucoup de la forme de la figure, les meilleurs résultats étant obtenus pour des contours proches du carré ou du cercle ; erreur relative de l'ordre de 0,2 % soit 2 m^2 pour 1 000 m^2.

d) Planimètre polaire à disque

La caractéristique essentielle de cet instrument est d'avoir une roulette intégrante qui se déplace sur un disque tournant de coefficient de glissement adapté et homogène, au lieu d'être en contact avec le plan (fig. **60**).

Lors du parcours le disque fait tourner la roulette, les positions et mouvements relatifs des deux organes étant les mêmes que pour le planimètre polaire.

Le pôle est remplacé par une masse polaire qui confère une grande stabilité à l'instrument ; le rayon de contournement est important. Le planimètre à disque est environ deux à trois fois plus précis que le planimètre à pôle fixe.

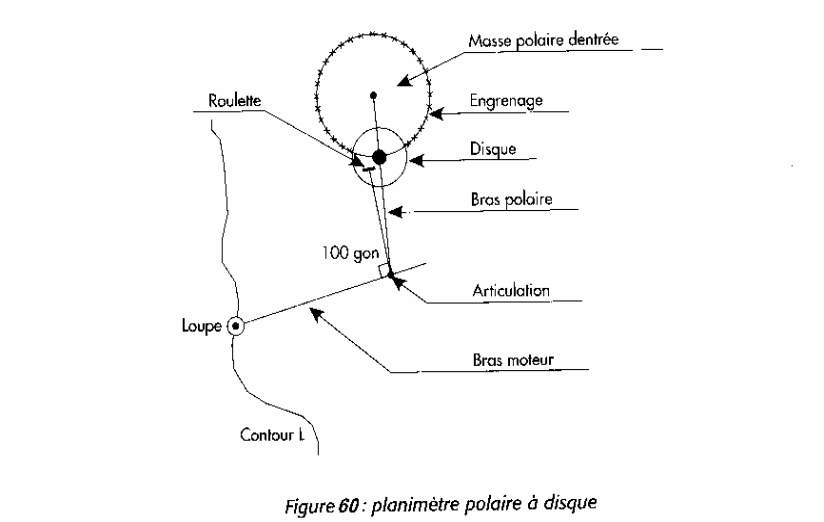


Figure 60 : planimètre polaire à disque

3. SURFACE- CHIFFRE OU UNITÉ DU VERNIER

Soit : $S_1 = a_1^2$ la superficie de papier d'un carré de côté a_1, égale à la surface-chiffre ou unité du vernier d'un planimètre.

À l'échelle $\frac{1}{E}$, ce côté a_1 du papier correspond à une longueur a telle que : $a_1 = a\frac{1}{E} \Rightarrow a_1^2 = \frac{a^2}{E^2}$.

Si S désigne la surface-chiffre du planimètre à l'échelle $\frac{1}{E}$ il vient :

$$S_1 = \frac{S}{E^2} \Rightarrow S = S_1 \cdot E^2$$

Exemple.–

$$S_1 = a_1^2 = 0{,}1\ \text{cm}^2,\ \frac{1}{E} = \frac{1}{1\,000} \Rightarrow S = 0{,}1 \cdot 1\,000^2 = 10\ \text{m}^2$$

a) <u>Régle pratique</u>

La surface-chiffre à l'échelle $\frac{1}{E}$ s'obtient en multipliant la surface-chiffre de base, ou surface-papier à l'échelle $\frac{1}{E_1} = \frac{1}{1}$, par le carré du dénominateur de l'échelle.

À l'échelle $\frac{1}{E_i}$ la surface-chiffre S_i vaut $S_i = S_1 \cdot E_i^2$.

Soit :
$$\frac{S_i}{S} = \frac{E_i^2}{E^2} \Rightarrow S_i = \left(\frac{E_i}{E}\right)^2 \cdot S$$

Exemple.–

$$\frac{1}{E_i} = \frac{1}{500} \rightarrow S_{500} = \left(\frac{500}{1\,000}\right)^2 \cdot 10 = 2{,}5\ \text{m}^2$$

IX. PLANIMÈTRE ÉLECTRONIQUE

1. GÉNÉRALITÉS.

Planimètres Electroniques sont de très grande qualité pour obtenir la surface de n'importe quelle figure d'une manière très simple et très précise.

2. DIFFERENCES AVEC LE PLANIMETRE MECANIQUE

Fig. 61

Le pôle est porté par un chariot qui se déplace en ligne droite (fig.61) , la roulette intégrante, parallèle à l'axe de ce chariot lorsque le bras moteur est sur l'axe de translation, n'enregistrant alors aucune impulsion.

Cet instrument, actuellement le plus diffusé, est donc particulièrement adapté au mesurage de superficies « allongées », la batterie interne autorisant une grande liberté de mouvement ; la distinction pôle à l'extérieur ou pôle à l'intérieur n'a plus de signification.

Mêmes fonctions préprogrammées que le planimètre à pôle fixe ; précision comparable.

3. AVANTAGE DE CET APPAREIL

- possibilité d'introduire n'import quelle échelle.
- possibilité d'introduire des échelles horizontales et verticales différentes.
- possibilité de sélection du système métrique ou anglo-saxon.
- possibilité de sélection de l'unité de mesure : cm, m, km, inch, feet, acre.
- possibilité de mémorisation des valeures mesurées.
- possibilité de détermination de la valeur moyenne d'une surface mesurée jusqu'à 9 fois.
- possibilité d'addition des valeurs de plusieurs surfaces.

4. PLANIMETRE POLAIRE A CHARIOT *PLANIX 7*

a) Caractéristiques technjiques

Alimentation :

Courant alternatif avec adapteur pour 220V, 240V, 50/60 Hz :

Par accus cadmium- nicel rechargeables 4N- 110 5.8V 11mAh ;

Autonomie :

16 heures avec les accus Cd-Ni 4N-110 (charge 8 heures) ;

Méthode d'affichge :

LCD (cristaux liquides) avec supperssion des zéros de tête ;

Capacité d'affichage :

8 chiffres entrée/sorie

SCALE (échelle), SCALE X , SCALE Y, HOLD (maintien) MEMO (mémoire), Batt,E, unités cm^3,m^2, km^2,in^2,ft^2, acres ;

Champ d'action :

300 cm x 30 cm (120in. X 12in);

Résolution:

Un chiffre correspond a:

0.1 cm^2 (0.01in^2) ;

Précision :

Meilleire que $\pm$ 0.2% ($\pm$2/1000 impulsions) ;

Poids :

500g (1,1 lbs) ;

Dimensions :

Largeur : 150, hteur : 39, longueur : 240 ;

b) Construction (Fig. 62)

I.(DESSUS)	II.(COTE)	III. (DESSOUS)	IV.
1. axe du rouleau	8. roulette intégrante		Malette de transport avec adapteur courant alter natif
2. prise	9. codeur optique		
3. affichge	10. accus Cadmium-Nickel		
4. bras conducteur			
5. rouleau			
6. touches de fonctionnement			
7. loupe			

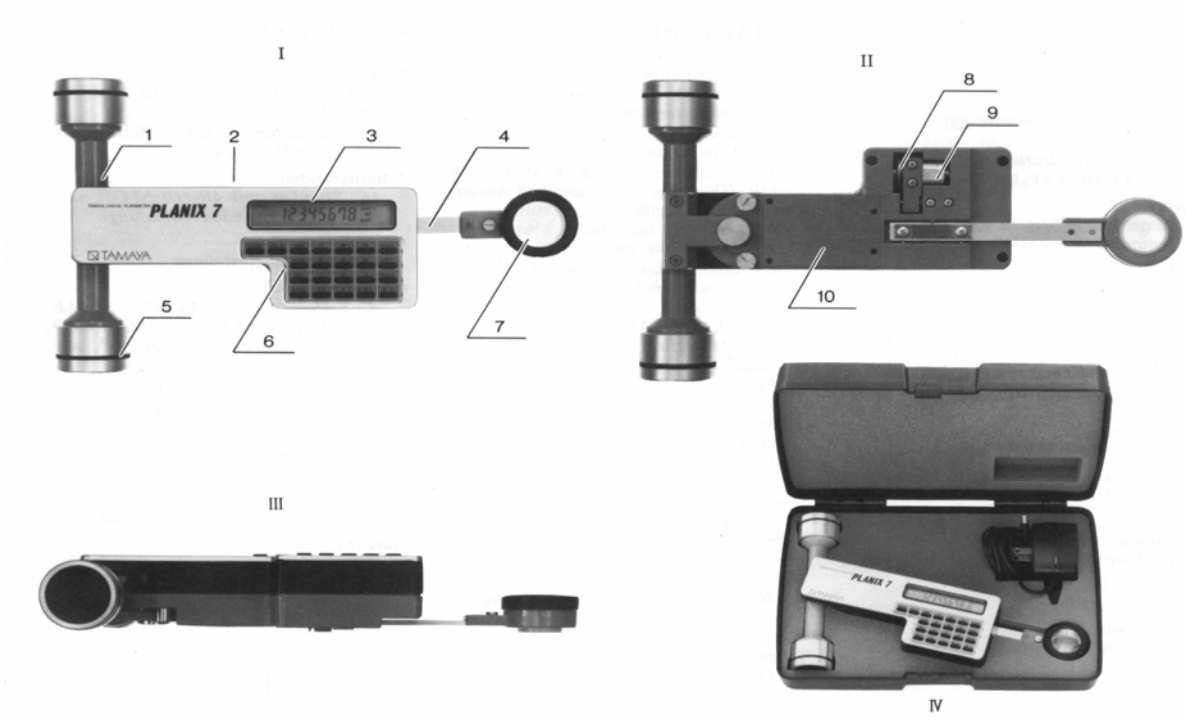


Fig. 62

c) <u>Symboles affiches</u>

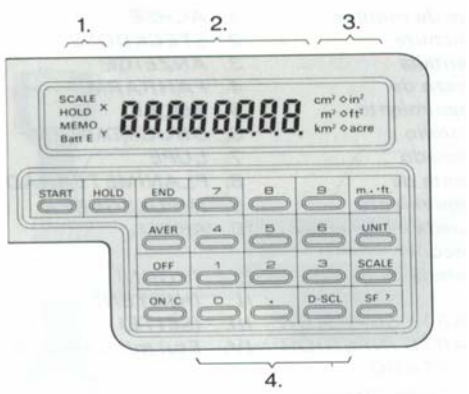


Fig. 63

1. Symboles ; 2. Affichage ; 3. Unités de mesure ; 4. Touches numérales ;

SCALE - Indique qu'un facteur d'échelle est enregistré
HOLD - Indique que la touche HOLD a été pressée et que le nombre affiché est gelé
MEMO - S'affiche quand la touche END est pressée. Le nombre affiché est mémorisé.

Batt – **I**ndique le faible niveau de accus

E - Indique 1) dépassement (plus de 8 chiffres sur l'affichage. 2) que la touche END a été pressée plus de 10 fois pour calculer la moyenne de la surface mesurée plusieurs fois. La limite est 9 fois.

cm^2 ♦ in^2 – Indique le systeme sélectionné par la touche m↔ft. : soit le système m^2 ♦ $ft.^2$ - métrique(cm^2, m^2, km^2) ou le système anglo- saxon (in^2, $ft.^2$, acre) km^2 ♦ acre

♦ - Indique l'unité sélectionné par la touche UNIT. Si aucune unité n'est repérée par l'index, le comptage se fait uniquement par impulsions.

X - Lorsqu'on presse une fois la touche SF ?, la valeur de l'échelle horizontal mise en mémoire vient d'afficher accompangée du symbole X.

Y - Lorsqu'on presse deux fois la touche SF ?, la valeur de échelle verticale mise en mémoire vient s'afficher accompagnée du symbole Y.

d) <u>Touches de fonctionnement</u>

START – Prêt pour la mesure. L'affichage indique ''0''.

HOLD - Rtient le chiffre affiché. Si on appuie une deuxième fois, la touche HOLD est liberée et le comptage continue. L'addition de différentes surfaces est donc possible grâce à cette touche.

END - Utilisé pour mesurer plusieurs fois la même surface.

AVER - Chaque mesure est enregistrée en appuyant sur la touche END et la moyenne est faite en appuyant sur la touche AVER.

ON/C - En marche/ efface le chiffre mémorisé ou affiché.

OFF - Arrêt

0 ≈ 9 - Touches numérales

m ↔ ft. – Sélectionne le système métrique ou le système anglo- saxon.

UNIT - Sélectionne, au moyen d'un index repère, l'unité de mesure :cm^2,m^2 km^2 dans le système métrique et in^2, ft^2 **,** acre dans le système anglo-saxon. Dans les deux cas, on peut également sélectionner le mode de comptage uniquement par impulsions.

SCALE – Touche d'introduction du factrur d'échelle
D-SCL - Touche d'introduction d'un double facteur d'échelle
SF ? - Interrogation sur le facteur d'échelle introduit. Si l'échelle de la carte est 1/N et que N est enregistré comme échelle.

e) <u>Alimentation</u>

Le PLANIX7 fonctionne sur courant alternatif ou avec accus rechrchables

(1) Accus rechrchables

l' appareil contient un accu cadmium-nicel dont le remplacement ne sera nécessaire que quand sa capacité de recharge sera très réduite.

(2) Courant alternatif

Le planimètre fonctionne sur courant alternatif grâce à un adapteur spécial branché sur une prise de courant alternatif. Le corps de l'appareil comporte une fiche pour la connexion du cordon. Si l'adapteur est connecté et que le planimètre est au repos, l'accu cadmium-nicel peut être rechargé en env. 8 heures(l'accu assure au PLANIX 7 une autonomie de fonctionnement de 16 heures). Economie dans l'utilisation de l'accu : l'alimentation est automatique-ment coupée si le planimètre reste inutilisé plus de trois minutes.

f) <u>Procedure de mesure</u>

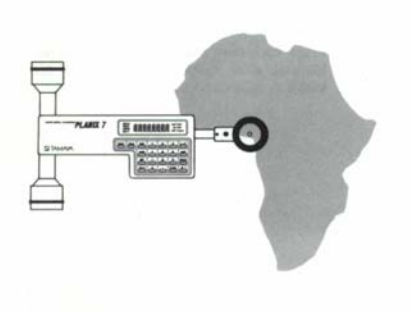


Fig. 64

Preliminaires

Poser à plat et fixer le document à planimétre (par ex. avec des rubans adhésifs) sur une planche à dessin réglée à peu près à l'horizontale. Poser le PLANIX 7 de façon à ce que l'axe du rouleau et le bras conducteur forment un angle droit l'un par rapport à l'autre, et placer le bras conducteur approxi – mativement sur la ligne médiane de la surface de l'objet. Le planimètre travai-llera alors dans les meilleures conditions.

Mise en Marche

Appuyer sur la touche ON/C. Le compteur indique ''0''.

Sélection du système METRIQUE *ou* ANGLO- SAXON

Key Ⓐ	Display Ⓑ		
ON/C	▢	◆in² ft² acre	
m.⇄ft.	▢	cm² ◆ m² km²	Metric system Ⓒ
m.⇄ft.	▢	◆in² ft² acre	English system Ⓓ
m.⇄ft.	▢	cm² ◆ m² km²	Metric system Ⓔ

Fig. 65

Appuyer sur la touche m ↔ ft. , les unités du système métrique et du système anglo-saxon sont affichées en alternance sur le côté droit de l'affichage. Sélectionner et introduir l'unité choisie. (Si aucun symbole n'est affiché alors que l'appareil a été mis en marche, cela signifie que le PLANIX 7 est pour l'instant en mode comptage par impulsions.

Appuyer une fois ou plus sur la touche UNIT et l'unité de mesure choisie s'afficherra).

L'unité km^2 (ouacre) n'ets pas suivie d'un autre symbole mais par le mode de comptage par impulsions. Dans ce cas, une impulsion correspond à $0,1cm^2$ pour des surfaces à échelle 1 :1.

∗ Une fois introduits, le système d'unités et le choix des unités seront protégés même après arrêt du planimètre, à moins d'appuyer sur les touches m↔ft. et UNIT

(A) **Touche** (C) Système métrique
(B) **Affichge** (D) Système anglo-saxon
(E) Système métrique

Selection de l'unite de mesure

Key	Display		
	▢	cm² ◆ m² km²	···cm²
UNIT	▢	cm² m² ◆ km²	···m²
UNIT	▢	cm² m² km² ◆	···km²
UNIT	▢		pulse count Ⓐ
Key	**Display**		
	▢	◆in² ft² acre	···in²
UNIT	▢	in² ◆ft² acre	···ft²
UNIT	▢	in² ft² ◆acre	···acre
UNIT	▢		pulse count Ⓐ

Fig. 66

Chaque fois que la touche UNIT est pressée, l'index-repère passe à l'unité superieure (par ex. de cm^2 (in^2) à m^2 (ft^2), ou de m^2 (ft^2) à km^2 (acre) et éventuellement retourne à l'unité inférieure si on renouvelle l'opération. L'unité sélectionné est celle qui comporte l'index-repère à sa hauteur.

∗ si une surface ne peut pas être couverte par l'unité affichée à cause du dépassement, l'unité affichée passe automatiquement à l'unité supérieure (par ex. $cm^2 \rightarrow m^2 \rightarrow km^2 \rightarrow$ comptage par impulsions.

Au cas où il y adépassement même avec l'unité la plus grande (km^2), le comptage par impulsions est automatiquement mis en oeuvre et la mesure n'est pas perdue. (Le compteur revient à 0 et continue à additionner après être arrivé à 99999).

(A) comptage par impulsions

Mesure d'une surface

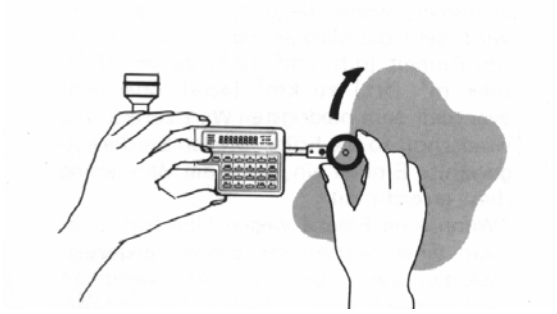


Fig. 67

Repérer par une marque le point de départ choisi sur le contour de la surface à mesurer. Amener le réticule de la loupe sur ce point. Appuyer sur la touche START et contrôler que le ''0'' est bien affiché (avec un son bip). Suiver alors le contour de la surface à mesurer, jusqu'à revenir au point de départ. Le chffre affiché indique la surface de l'objet mesuré.

***Memorisation des Valeurs Mesurées Grace à la Touch* HOLD**

Les chiffres affiches sont gelés grâce à la touche HOLD Dans ce mode de comptage, les deux symbole HOLD apparessenty sur le côté gauche de l'affichage. Ceci permet d'éviter la perte éventuelle par inadvertance du résultat mémorisé.

***Addition de Surfaces Grace à La Touche* HOLD**

La touche HOLD peut être utilisée pour mesurer enplusieurs fois une surface importante qui ne peut pas être mesurée d'un seul coup ou pour mesurer deux ou pludieurs surfaces différentses et en additionner les valeurs. Pour mesurer et additionner plusieurs surfaces, contouner la première surface et appuyer sur la touche HOLD, placer le réticule de la loupe sur le point de départ du contour de la

deuxième surface, appuier sur HOLD et la contourner, et réappuier sur HOLD Renouveler cette opération pour la troisième, quatrième etc…Pour recommencer une mesure au cours d'une opération d'addition de surfases (au cas où par ex ; une erreur de suivi du contour est décelée), appuyer sur HOLD, revenir sur le point de départ de la surface en cours de suivi et appuyer sur ON/C ce qui a pour effect deréafficher la somme des mesures précédentes. Continuer alors le travail comme prévu.

Key		Display		
START		0	cm² ◆ m² km²	
1st Ⓐ		23	cm² ◆ m² km²	
HOLD	HOLD	23	cm² ◆ m² km²	Hold Ⓑ
HOLD		23	cm² ◆ m² km²	Release Hold Ⓒ
2nd Ⓓ		58	cm² ◆ m² km²	···23cm²+35cm²
HOLD	HOLD	58	cm² ◆ m² km²	Hold Ⓔ
HOLD		58	cm² ◆ m² km²	Release Hold Ⓕ
3rd Ⓖ		84	cm² ◆ m² km²	···58cm²+26cm²
HOLD	HOLD	84	cm² ◆ m² km²	Hold Ⓗ

Fig. 68

(A) 1ère mesure
(B) HOLD
© Libérer HOLD
(D) 2ème mesure
(E) HOLD
(F) Libérer HOLD
(G) 3ème mesure
(H) HOLD

Précautions a prendre pour mesurer une surface importante: Le PLANIX 7 peut mesurer et afficher une surface d'env. 300x30 cm en une seuie fois. Une surface plus importante peut être mesurée en la divisant en plusieurs morceaux et en additionant les surfaces. Le cumul est limité à 8 chiffres ; Si le montant cumulé excède cette limite, l'unité de mesure passe automatiquement à l'unité supérieure.

Lors de la mesure d'une grande surface en une seul fois, il peut y avoir lieu d'ajouter une surface de valeur équivalente à 100000impulsions au chiffre obtenu car le compteur retourne à ''0'' après un comptage de 99.999. L avaleur à additionner est 100000 multipliée par une constante de surface dépandant de l'échelle du document).

[REMARQUE] en appuyant deux fois sur la touche ON/C, on perd la mesure gelée et l'affichge indique '' 0''.

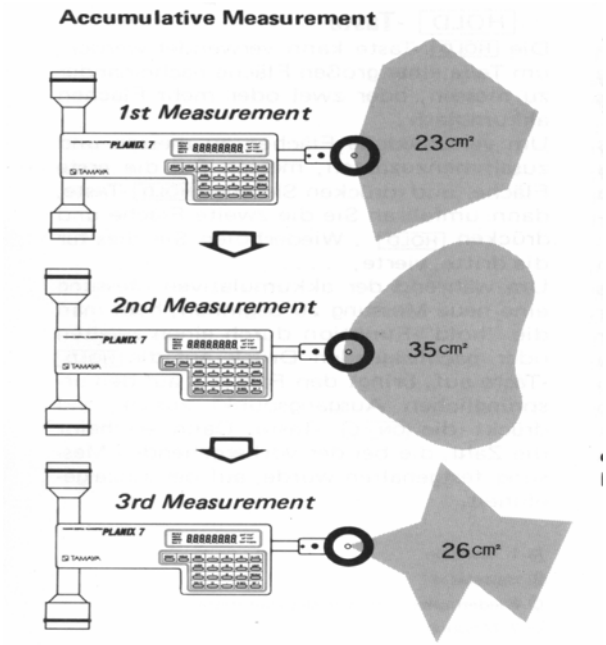


Fig. 69

***Moyenne des Mesures par la Touche* AVER**

La même surface peut être mesurée jusqu'à neuf fois en vue de déterminer une moyenne très précise. La façon d'opérer est la suivant :

Mesurer une première fois une surface, appuyer sur la touche END, et reme surer cette même suface. Renouveler cetteopération plusieurs fois. A la fin, appuyer sur la touche AVER pour obtenir la moyenne finale. Quand on appuie sur la touche END, l'affichage indique''O''. Cette valeur n'est pas gelée. Si un faux mouvement fait que l'affichage n'indique pas ''0'' sur le point de départ de la mesure suivante, il suffit d'appuyer sur ON/C pour ramener l'affichage à ''0''. On est sûr alors de repartirsur la valeur précédemment cumulée, c'est a-dire celle qui était affichée avant qu'on appuie sur END. La moyenne obtenue à la fin est gelée.

(A) 1ère mesure ; (B) 2ème mesure (C) 3ème mesure

Key	Display		
START	0	cm² ◆ m² km²	
	19.8	cm² ◆ m² km²	1st measurement Ⓐ
END	MEMO 0	cm² ◆ m² km²	...
	MEMO 20	cm² ◆ m² km²	2nd measurement Ⓑ
END	MEMO 0	cm² ◆ m² km²	...
	MEMO 20.2	cm² ◆ m² km²	3rd measurement Ⓒ
END	MEMO 0	cm² ◆ m² km²	...
AVER	20	cm² ◆ m² km²	

Fig. 70

Mesures de Plans a Échelle Reduite

Echelle réduite 1 :N

Enregistrer ‘’N’’ avec les touches numérales (0 …..9) et la touche SCALE avant de mesurer la surface sur un plan tracé à l’échelle 1 :N. Le microprocesseur du PLANIX 7 fait la conversion nécessaire et(affiche une valeur exacte dans l’unité choisie et affichée.

Exemple : plan à échelle 1 :10

Key	Display	
1 0	10	Reduced scale value set Ⓐ
SCALE	SCALE 10	1:10 set Ⓑ
START	0	Measurement started Ⓒ

Fig. 71

(A) Valeur d’échelle réduite enregistrée ; (B) 1 : 10 enregistrée ; (C) la mesure commence ;

Mesures de Plans a Echelle Plus Grande Que 1

Echelle plus grand N :1

Le résultat de mesures sur des plans dont d’échelle est supérieure à 1 peut s’obtenir en lecture directe, comme dans le cas précédant (plans à échelle inférieur à 1) ; la suele différence dans la manière de procéder est qu’il faut alorsenregistrer l’inverse de ‘’N’’, c’est aà dire ‘’1/N’’. Calculer la valeur décimale 1/N pour l’inregistrer en la tapant au clavier.

Exemple : plan à échelle 10 :1

Key	Display	
0 · 1	0.1	Enlarged scale value set Ⓐ
SCALE	SCALE 0.1	10 : 1 set Ⓑ
START	0	Measurement started Ⓒ

Fig. 72

(A) valeur d’échelle plus grande enregistrée ; (B) 10 :1 enregistrée ; (C) la mesure commence ;

Mesure sur plans dont les échelles horizontale et verticale sont différents

Echelle horizontale : 1 : M

Echelle verticale : 1 : N

Enregistrer soit ‘’M’’ et appuyer sur la touche D-SCL. Enregistrer ensuite l’autre nombre et appuyer sur la touche SCALE.

∗ Si on ne précise pas l’échelle, le microprocesseur calcule automatiquement les surfaces à échelle 1/1.

ATTENTION° L’ECHELLE DOIT ÊTRE EXPRIMÉE DE FAÇON COHERENTE

Exemple : Si l'échelle indiquée sur le plan est ''1 mm pour 1m'' (ou bien ''1inch pour 100 feet''), on devra convertir cette expressionen ''1mm pour 1000mm''(ou1inch pour 1200inches) et enregistrer dans le planimétre le valeur 1000(ou 1200).

Exemple : Echelle horizontale 1/10 et échelle verticale 1/1

Key	Display	
1 ○	1○	Horizontal scale value set (Either axis may precede) Ⓐ
D-SCL	SCALE x 1○	Ready to set vertical scale value Ⓑ
1	1	Vertical scale value set Ⓒ
SCALE	SCALE y 1	Both 1:10 and 1:1 set Ⓓ
START	○	Measurement start Ⓔ

Fig. 73

(A) Valeur de l'échelle horizontale enregistrée (on peut commencer par n'importe quel axe)

(B) Prêt à enregistrer la valeur d'échelle verticale

(C) Valeur d'échelle verticale enregistrée

(D) Les deux valeurs 1 :10 et 1 :1 sont enregistrées

(E) La mesure peut commencer

Annulation ou changement de l'échelle mémorisée

L'échelle choisie reste consignée enmemoire même nlorsque l'appareil est mis hors tension ; elle n'est effacée que si on la modifie ou bien lorsqu'on branche le chrgeur sur l'appareil. On peut intraduire à tous moments une nouvelle échelle . Il suffit pour cela, l'appareil étant sous tansion, de taper la nouvelle valeur N' et appuyer sur la touche SCALE ; l'ancienne valeur N est efacée et la nouvelle valeur N' apparaît à l'affichage. Pour annuler toute échelle, c'est-à-dire mesurer en grandur nature, taper 1 suivi de SCALE.

Contrôle de l'échelle mémorisée

Pour retrouver la ou les valeurs d'échelle mémorisées, appuyer sur la touche SF ?. La première ptession sur la touche affiche la valeur horizontale et la deuxième, la valeur verticale.

Exemple : Echelle 1/5000

Key	Display
5 0 0 0 0	50000 cm² m² ◆ km²
SCALE	SCALE 50000 cm² m² ◆ km²
START	0 cm² m² ◆ km²
SF ?	SCALE x 50000 cm² m² ◆ km²
SF ?	SCALE y 50000 cm² m² ◆ km²

Fig. 74

Exemple : Echelle horizontale 1/30.
Echelle verticale 1/50

Key	Display
3 0	30 cm² m² ◆ km²
D-SCL	SCALE x 30 cm² m² ◆ km²
5 0	50 cm² m² ◆ km²
SCALE	SCALE y 50 cm² m² ◆ km²
SF ?	SCALE x 30 cm² m² ◆ km²
SF ?	SCALE y 50 cm² m² ◆ km²

Fig. 75

Figure comportant un figure inscrite plus petite

Si on décrit le contour d'une surface en tournant dans le sens inverse des aiguilles de la montre, le PLANIX 7indique un résultat négatif. Il est ainsi possible de soustraire d'une surface la mesure de surfaces plus petites inscrites dans cette surface.

1) Décrire d'abord le contour de la figure A dans le sens des aiguilles de la montre et ''geler'' le résultat en appuyant sur la touche HOLD. Déplacer l'appareil jusqu'à la fugure B.

2) Relancer le compte en appuyant sur HOLD et décrire le contour de la figure B En tournant dans le sens contraire des aiguilles de la montre. Le PLANIX 7 soustrait la surface de la figure B de la surface mémorisée de la figure A.

3) procéder de même pour le figure C. De cette manière, on peut avec la PLANIX 7 mesurer la surface des figures les plus complexes.

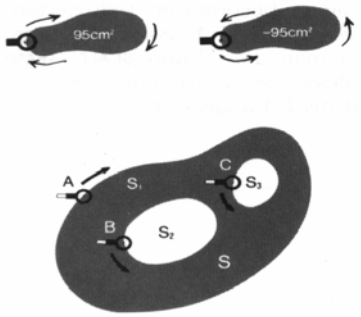


Fig 76

Mesure de Surfaces en Unités Autres que cm^2, m^2, km^2, in^2, ft^2, et Acre

Une surface peut être mesurée et lue directement en ha ou toute autre unité autre que cm^2, m^2, km^2, in^2, ft^2, et acre.

Exemple : surface à échelle réduite 1 :5000 mesurée en ha au lieu de m^2

Etant donné que 1ha = 10^4 m^2, utiliser l'échelle N = 5000 : 10^2 = 50. Bien que la mesure soit affichée en m^2, la surface peut en fait être mesurée en ha sur une base d'échelle réduite 1 :5000.

Calcul d'une Surface Avec Comptage par Impulsions

Si l'on n'a pas introduit d'unité de surface, le mode de compartage par impulsions est automatiquement sélectionné. Il faut dans ce cas multiplier la valeur mesurée, exprimée en nombre d'impulsions par une constante qui n'est autre que la valeur de la surface réelle correspondant à une impulsion, c'est- à- dire à 0,1cm^2. Par exemple, si la mesure donne 3210 impulsions pour une surface portée sur une carte à échelle 1 :100°, la surface effective est 3210x1000^2 x0, 1cm^2 = 321.000.000 cm^2 = 321.000m^2. Le facteur ''1000^2x 0,1 cm^2'' est appelé constante unitaire de surface. Les constantes unitaires de surface pour les échelle réduites les plus fréquantes sont les suivantes :

Scales	*area/digit*
1:1	0.1cm^2
1 10	10cm^2
1:50	250cm^2
1:100	0.1m^2
1:200	0.4m^2
1.250	0.625m^2
1:300	0.9m^2
1:400	1.6m^2
1:500	2.5m^2
1:600	3.6m^2
1:1000	10m^2
1.1500	22.5m^2
1:2000	40m^2
1.2500	62.5m^2
1:5000	250m^2
1:10000	1000m^2
1.25000	6250m^2
1:50000	25000m^2

Fig. 77

g) <u>Quelques conseils pratiques</u>

Correction d'erreurs Accdentelles

Lors du contournement, vous deves déplacer exactement la loupe conductrice sur le contour de la surface. Si vousz pencez avoir dépassé légèrment sur la goche de la ligne, cette ereur peut être compensée de suite en dépassant de façon équivalente sur la droite. Ceci est affaire de technique personnelle et s'apprend par la pratique et l'expérience ; cela puet vous être d'un grand service en réduisant le temps reél de la mesure.

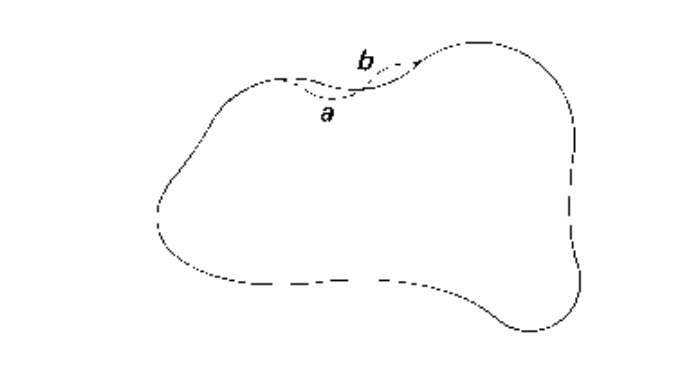


Fig. 78

A = erreur accidentelle ; b= erreur correctrice ;

INSTRUMENTS ET APPAREILS TOPOGRAPHIQUES UTILISES EN INITIATION EN TOPOGRAPHIE

GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUE

I. Travail pratique n°1 : ÉTABLIR UN TRAIT CARRÉ

Durée : 3 heures

But : Maîtriser la technique d'établissement du trait carré et définir un rectangle.

Matériel requis (pour deux élèves) :

- bornes pour trait carré (9) ou bornes-piquets (9);
- ruban d'acier de 30 m;
- ligne (cordeau).

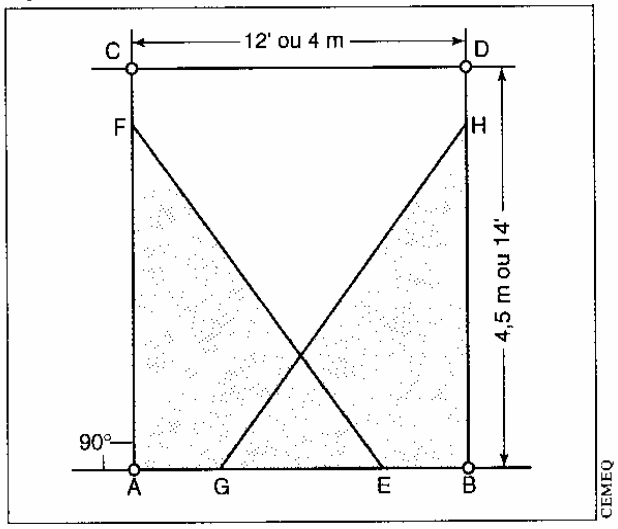
Mise en situation

Première partie : un des deux élèves doit établir le triangle AEF.
Deuxième partie : le deuxième élève doit établir le triangle BGH.
Troisième partie : les deux élèves doivent établir les points C et D.

Marche à suivre

1. Faites d'abord la **lecture complète** des diverses étapes de cet exercice.
2. Étudiez attentivement le plan de la figure 2.29.

Figure 2.29 Plan de l'exercice



3. Formez-vous en équipes de deux élèves. Chaque élève, en établissant un trait carré, doit donner les directives à l'autre :
   - pour tenir la ligne (cordeau);
   - pour tenir le bout du ruban d'acier.

Première partie

4. Établissez la ligne de départ AB.
5. Établissez le point repère E sur AB.
6. Établissez le point repère F.
7. Vérifiez la diagonale EF (théorème de Pythagore).

Faites vérifier votre travail.

Deuxième partie

8. Établissez le point repère G sur BA.
9. Établissez le point repère H.
10. Vérifiez la diagonale GH (théorème de Pythagore).

Faites vérifier votre travail.

Troisième partie

11. Prolongez la ligne AF en C à la mesure.
12. Prolongez la ligne BH en D à la mesure.
13. Vérifiez la distance CD.
14. Vérifiez les diagonales du rectangle A, B, C, D.

Faites vérifier votre travail.

II. Travail pratique n°2 : MISE EN STATION ET ETABLISSEMENT D'ANGLES DROITS

Durée : 3 heures

But : Maîtriser la technique de mise en station d'un instrument et l'établissement d'angles droits.

Matériel requis :

- instrument de nivellement;
- trépied;
- mire;
- nivelle de mire ou niveau de menuisier;
- fil à plomb.

Mise en situation

Vous aurez à faire la mise en station d'un instrument et l'établissement de quatre coins selon l méthode de la figure 2.25 et ceci très précisément.

Marche à suivre

1. Faites d'abord la **lecture complète** des diverses étapes de cet exercice.
2. Positionnez convenablement votre trépied.
3. Accrochez le fil à plomb et positionnez-le au-dessus du point A (figure 2.25).
4. Placez votre instrument sur le trépied.
5. À l'aide des vis calantes, ajustez la nivelle.
6. Délimitez au sol un point B à 4 m de A.
7. Faites placer votre aide avec la mire sur le point B (attention au niveau de la mire).
8. Positionnez la lunette vers la mire et bloquez-la.
9. Positionnez le cercle horizontal face à l'index de lecture (première lecture de la figure 2.25).
10. Débloquez la lunette et pivotez de 90° vers le point C à 4 m de A.
11. Bloquez celle-ci à cet angle.
12. Faites déplacer l'aide avec la mire face au fil vertical du réticule.
13. Marquez au sol le point C (deuxième lecture de la figure 2.25).

Faites vérifier votre travail.

14. Inversez les rôles de l'instrumentiste et de l'aide et répétez les opérations à partir de l'étape 7.

Faites vérifier votre travail.

15. Rangez soigneusement votre instrument dans sa boîte.

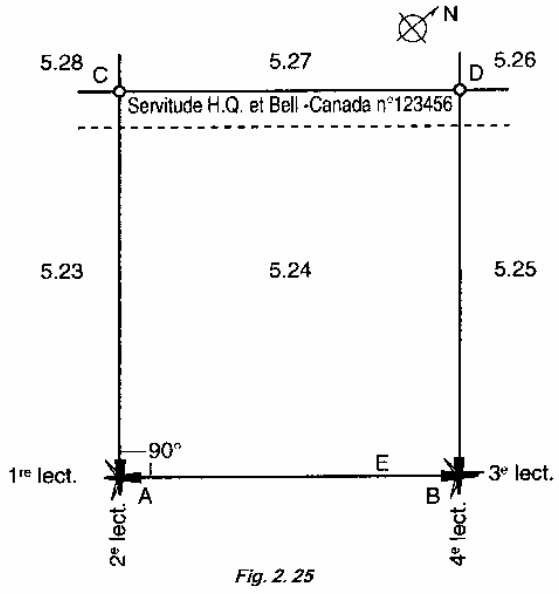


Fig. 2. 25

III. Travail pratique n°3 : PIQUETAGE D'UN BÂTIMENT (THÉORÈME DE PYTHAGORE)

Durée : 3 heures

But : Borner un terrain et implanter un bâtiment en équipes de deux.

Matériel requis :

- bornes-repères ou piquets (8);
- ruban (30 m);
- masse (si nécessaire);
- marteau et clous;
- ligne (cordeau).

Mise en situation

Vous aurez à piqueter un bâtiment sur un terrain, c'est-à-dire à en faire l'implantation. Pour cela vous devrez délimiter le terrain et piqueter le bâtiment à l'aide du théorème de Pythagore. Un premier élève travaille à partir du plan de la figure 3.6, puis c'est au tour de l'équipier ou de l'équipière de travailler à partir du plan de la figure 3.7.

Marche à suivre

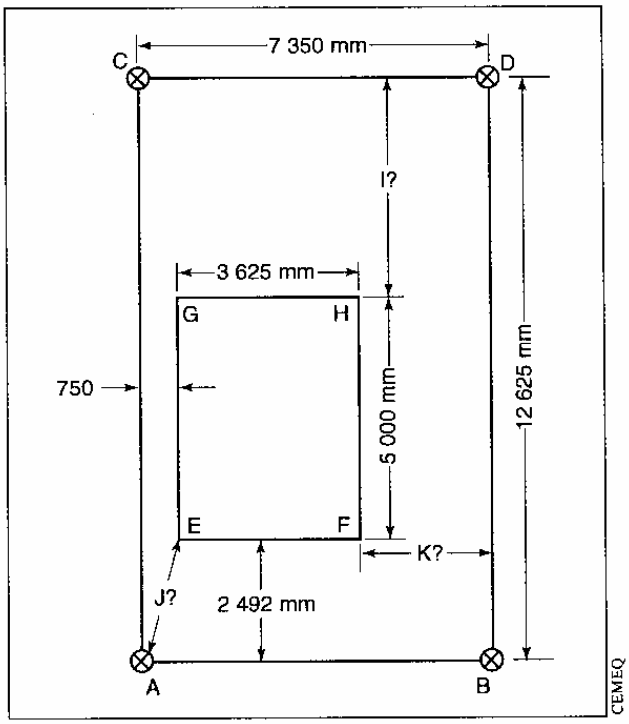
1. Faites d'abord la **lecture complète** des diverses étapes de cet exercice.

- **Chaque élève établissant une implantation donne les directives à l'autre :**
  - **pour installer la ligne à l'endroit voulu (cordeau);**
  - **pour tenir le bout du ruban.**
- **Vous devez conserver tous vos points-repères pour la vérification de votre enseignant.**

Première partie Bâtiment n° 1

2. Étudiez attentivement les caractéristiques du plan (figure 3.6).

Figure 3.6 Plan du piquetage d'un bâtiment n° 1



3. Établissez la ligne AB.
4. Établissez la ligne AC.
5. Vérifiez la diagonale BC.
6. Établissez la borne D.
7. Vérifiez les diagonales AD-BC.

Faites vérifier votre travail.

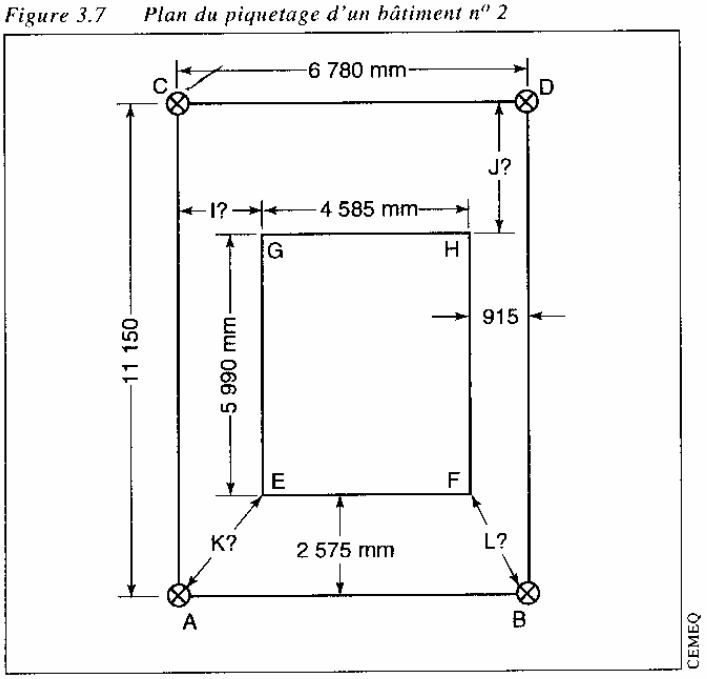
8. Établissez les points E et F.
9. Établissez le point G.
10. Vérifiez la diagonale FG.
11. Établissez le point H.
12. Vérifiez les diagonales EH et FG.

Faites vérifier votre travail.

Deuxième partie Bâtiment n° 2

13. Étudiez attentivement les caractéristiques du plan (figure 3.7).

Figure 3.7 Plan du piquetage d'un bâtiment n° 2



14. Répétez les étapes 2 à 12.

Faites vérifier votre travail.

IV. Travail pratique n°4 : REPORT DES ANGLES D'UN BÂTIMENT SUR LES PLANCHES- REPÈRES (MÉTHODE MANUELLE)

Durée : 6 heures

But : Transférer l'implantation d'un bâtiment sur les chevalets d'alignement.

Matériel requis :

- ligne (cordeau)
- piquets-repères (4);
- fil à plomb;
- égoïne;
- ruban à mesurer (30 m);

Mise en situation

Vous aurez à transférer sur les chevalets d'alignement une implantation d'après le plan choisi par votre enseignant (figure 3.16, 3.17, 3.18 ou 3.19). Vous devrez faire ce transfert à la ligne et au fil à plomb et en équipe de deux, chacun faisant à tour de rôle la moitié de l'exercice (deux coins à transférer par élève).

Marche à suivre

1. Faites d'abord la **lecture complète** des diverses étapes de cet exercice.
2. Bornez le terrain d'après le plan choisi (figure 3.16, 3.17, 3.18 ou 3.19).

Figure 3.16 Report de lignes sur les planches-repères (plan 1)

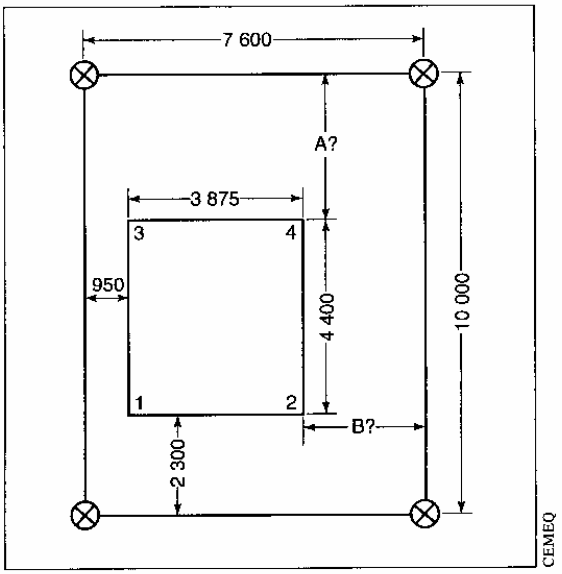


Figure 3.17 Report de lignes sur les planches-repères (plan 2)

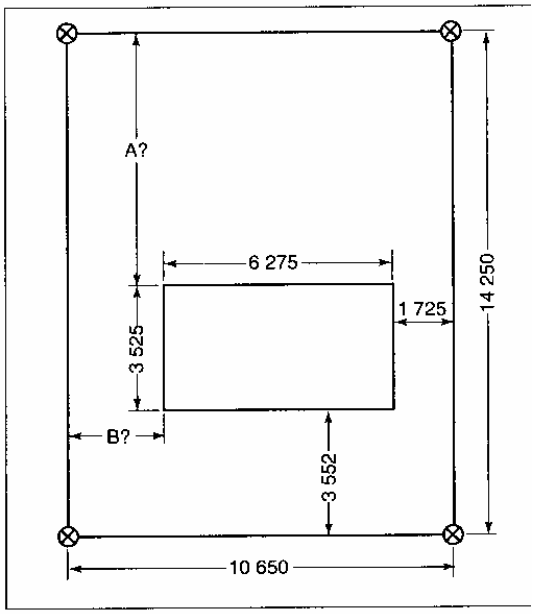


Figure 3.18 Report de lignes sur les planches-repères (plan 3)

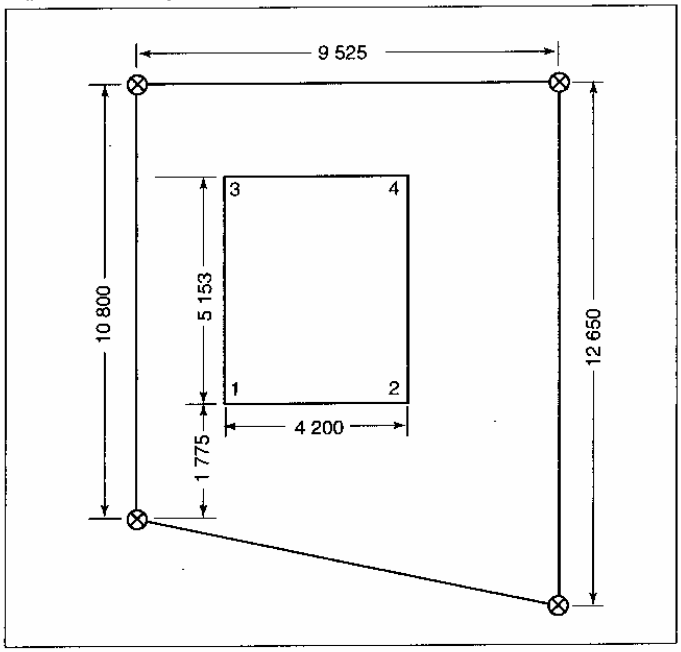
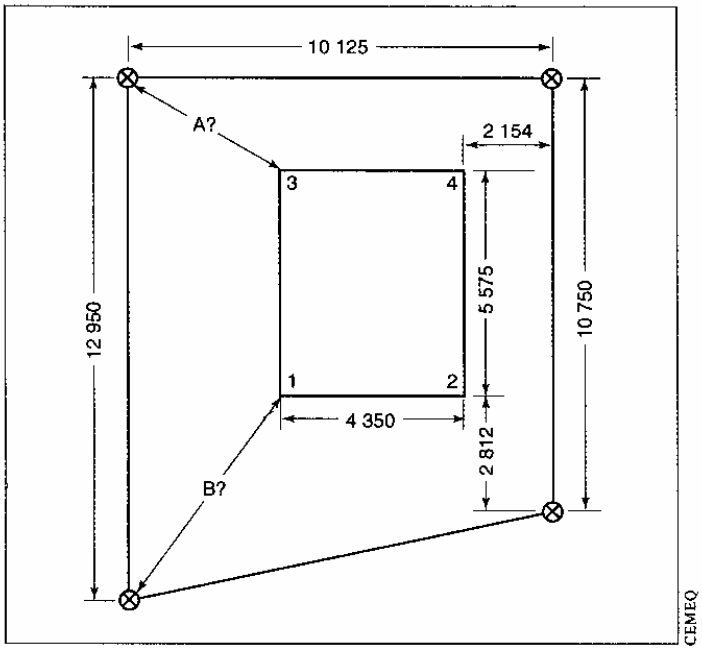


Figure 3.19 Report de lignes sur les planches-repères (plan 4)



3. Implantez la bâtisse.
4. Installez les chevalets d'alignement.

Faites vérifier votre travail.

5. Marquez le repère du piquet 1 en passant par 2.
6. Marquez le repère du piquet 2 en passant par 1.
7. Marquez le repère du piquet 1 en passant par 3.
8. Marquez le repère du piquet 3 en passant par 1.
9. Marquez le repère du piquet 3 en passant par 4.
10. Marquez le repère du piquet 4 en passant par 3.
11. Marquez le repère du piquet 2 en passant par 4.
12. Marquez le repère du piquet 4 en passant par 2.
13. Vérifiez la largeur et la longueur de la bâtisse sur vos planches-repères. Si vos mesures ne correspondent pas à votre plan, vous devez recommencer l'opération.

rappel

Avez-vous fait votre trait de scie ou planté des clous et identifié celui-ci?

V. Travail pratique n°5 : DÉTERMINATION DE LA PROFONDEUR D'EXCAVATION

Durée : 2 heures

But : Délimiter la profondeur d'excavation d'une bâtisse.

Matériel requis :

- théodolite ou niveau de chantier;
- trépied;
- mire;
- papier - crayon.

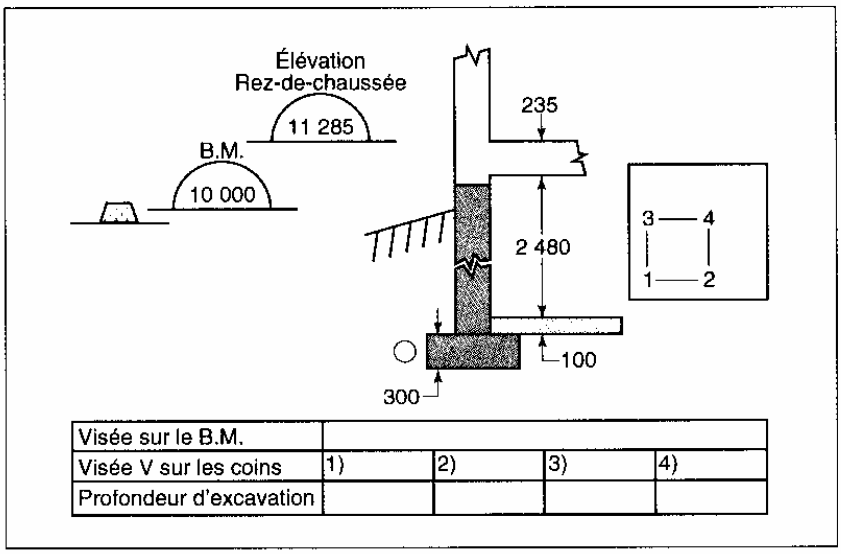
Mise en situation

Vous devez, en équipe de deux et à tour de rôle, délimiter la profondeur d'excavation des plans des figures 4.8 et 4.9.

Marche à suivre

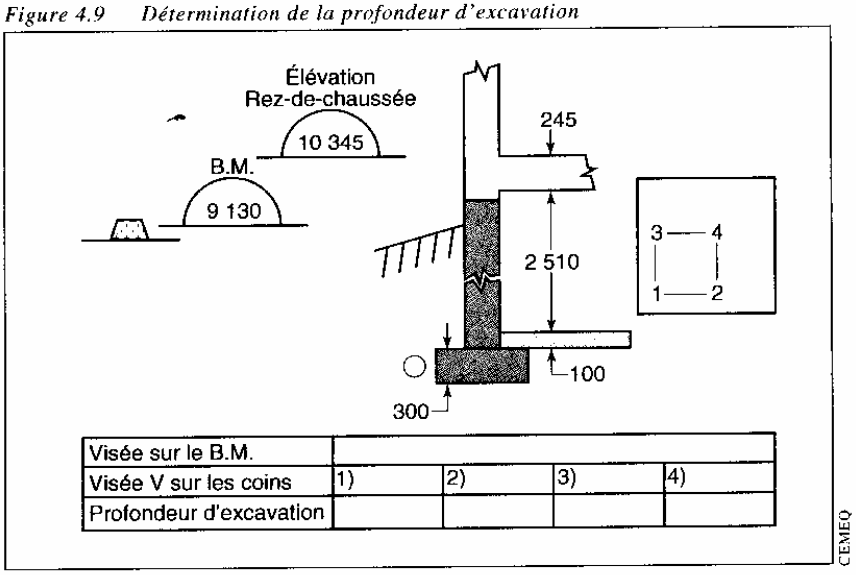
1. Faites d'abord la **lecture complète** des diverses étapes de cet exercice.
2. Faites la lecture du plan 4.8 ou 4.9, suivant les indications de votre enseignant.

Figure 4.8 Détermination de la profondeur d'excavation



Visée sur le B.M.				
Visée V sur les coins	1)	2)	3)	4)
Profondeur d'excavation				

Figure 4.9 Détermination de la profondeur d'excavation



Visée sur le B.M.				
Visée V sur les coins	1)	2)	3)	4)
Profondeur d'excavation				

3. Le premier élève effectue la mise en station.
4. Effectuez la visée arrière.
5. Indiquez la hauteur de votre HI.
6. Faites la visée avant sur le point 1 et indiquez sur votre feuille la lecture effectuée.
7. Faites les visées avant sur les trois autres points et indiquez les lectures effectuées.
8. Faites vos calculs de profondeur d'excavation à chaque coin.

Faites vérifier votre travail.

9. Le deuxième élève effectue sa mise en station.
10. Répétez les étapes 4 à 8.

Faites vérifier votre travail.

Rangez votre instrument avec précaution.

INSTRUMENTS ET APPAREILS TOPOGRAPHIQUES UTILISES EN INITIATION EN TOPOGRAPHIE

EVALUATION DE FIN DE MODULE

Filière : T.S. Géomètre Topographe (APC) **Epreuve : Pratique**

Durée : 6 h **Barème : /60**

But : On doit vérifier si les stagiaires ont appris la méthode de faire l'implantation d'une pente sur le terrain avec un niveau de chantier pour les besoins d'un plan.	
Mise en situation	
La classe est divisée en groupes de trois stagiaires et chaque groupe doit effectuer l'implantation d'une pente de 2.05% sur le terrain avec un niveau de chantier et des piquets en fer.	
Marche à suivre	
1. Avec le niveau de chantier on doit implanter une ligne tout droite sur une distance de 30 mètres et sur la quelle on doit implanter 6 piquets en fer. Les distances de 5 mètres entre les piquets doivent être mesurées avec une roulette de 30 m.	/12
2. On doit sortir du premier piquet et selon la mesure sur la mire avec fil niveleur de calculer les lectures sur la mire, posée sur chaque piquet, nécessaires pour implantation d'une pente de 2.05%.	/8
3. On fait une vérification pour la distance totale de 30 m.	/8
4. Après cette opération on doit commencer a planter le premier piquet à l'aide d'une marteau et de contrôler avec le niveau de chantier la lecture sur la mire, posée sur le piquet jusque le moment où la lecture est égale avec la lecture, calculée avant	/9

1/2

5. La même opération se répète sur les autres quatre piquets. **/10**

A la fin chaque groupe doit présenter la documentation suivante :

1. Le carnet avec les résultats de mesure de distances et de calculs.
   .
2. Note explicative pour le contenu du travail. **/9**

Total : **/4**

/60

Equipement :

- un niveau de chantier
- un trépied
- une mire
- une calculatrice
- un carnet pour les mesures des distances et des altitudes
- une roulette de 30 m
- 6piquets en fer
- un marteau

X. LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR	TITLE	EDITION
MICHEL BRABANT	MAITRISER LA TOPOGRAPHIE	2000
SERGE MILLES et JEAN LAGOFUN	TECHNIQUE DE MESURE ET DE REPRESENTATION	1992
LUCIEN LAPOINTE et GILLES MEYER	TOPOGRAPHIE APPLIQUE AUX TRAVAUX PUBLIQUE, BÂTIMENTS ET LEVERS URBAINS	1991